



Un tast de *nano*

Sant Albert, UAB

12 de novembre de 2014

Jordi Pascual

ÍNDEX

I-Preàmbul

II-Escala nanomètrica i fenòmens físics

III-STM: la primera eina *nano*

IV-El paper dels efectes de superfície

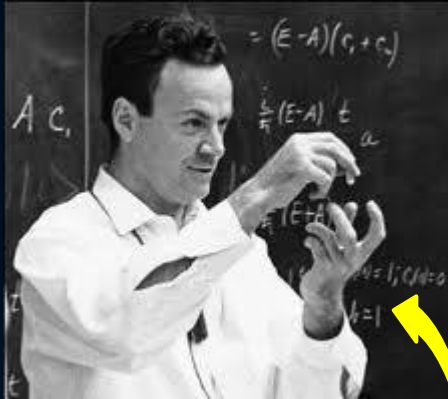
V-Nanotecnologia i món bio

VI-Algunes dades significatives

VII-Grau *nano*

VIII- J. C. Maxwell

I Preàmbul



1959. Richard **Feynman** (1918-1988). **Fa 55 anys!.**

“Visionari”: Predicció.

Conferència anual APS: “There’s plenty of room at the bottom”

<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

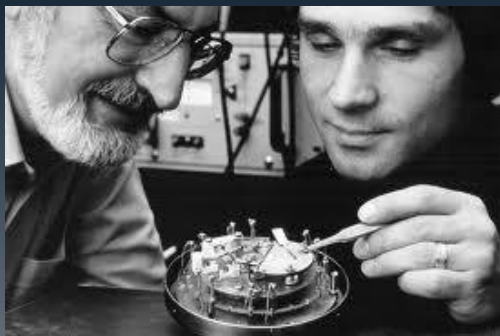


1974. Norio **Taniguchi** (1912-1999). **Fa 40 anys!.**

Encunya el terme nanotecnologia.

Conferència ICPE. "On the Basic Concept of 'Nano-Technology'".

http://en.wikipedia.org/wiki/Norio_Taniguchi



1981. G. **Binnig** (1947-) & H. **Rohrer** (1933-1013). **Fa 33 anys!**

Primera eina nano: Construcció del primer STM (patent 1979)

[http://www-](http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/microscope/)

[03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/microscope/](http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/microscope/)

<http://www.google.com/patents/US4343993>

22 anys

A. Méndez
Degà Fac Ciències UAB

J. Pascual
Director ICN

H. Rohrer
Premi Nobel de Física
("pare" de la
nanotecnologia)

J. Vendrell
Degà Fac Biociències UAB



(Aula Magna Facultat de Ciències, 25 Nov. 2006)

II

Escala nanomètrica i fenòmens físics

És un botó gran o petit?



És un botó?

Les coses són?

Res és en si mateix
Tot interacciona i, per tant, tot
té un temps de vida

Escala de temps

Gran o petit ?

Aquesta pregunta només té
sentit en termes relatius

Les coses són grans o petites
relatives a ...

Escala de longituds

Nano-?

Escala (en unitats de 10^3):

Teràmetre (Tm)	10^{12}	(1000000000000000)
Gigàmetre (Gm)	10^9	(10000000000)
Megàmetre (Mm)	10^6	(1000000)
Kilòmetre (Km)	10^3	(1000)
metre (m)	1	
mil·límetre (mm)	10^{-3}	(0.001)
micròmetre (μm)	10^{-6}	(0.000001)
nanòmetre (nm)	10^{-9}	(0.0000000001)
picòmetre (pm)	10^{-12}	(0.0000000000001)
femtòmetre (fm)	10^{-15}	(0.0000000000000001)
attòmetre (am)	10^{-18}	(0.0000000000000000001)

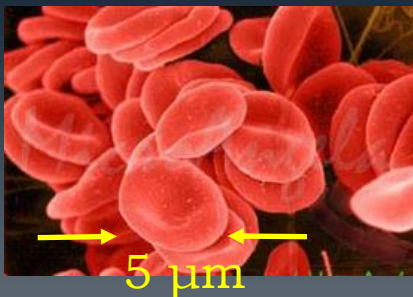
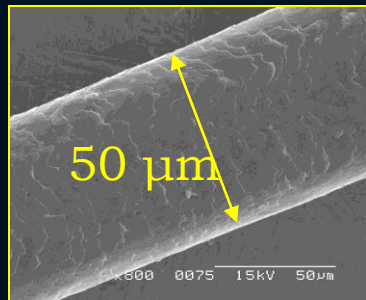
escala nanomètrica: unitats a centenars de nanòmetres

Món



25 mm

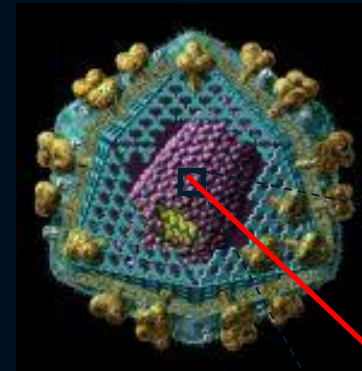
Cabell
humà



Glòbuls
rojos

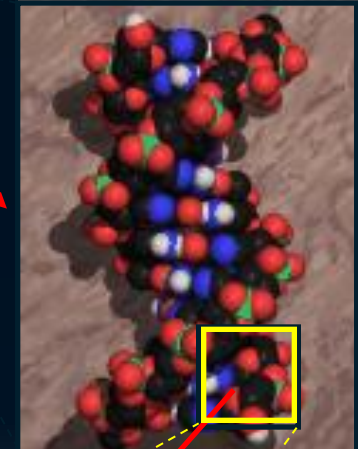
Nanomón

Virus de la SIDA

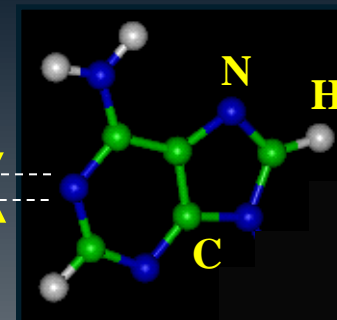


100 nm

ADN
2 nm



Adenina



0,1 nm

Nanomón

És un món de NOUS CONCEPTES?,
(com la teoria de la relativitat
o la mecànica quàntica)

NO

És un món de NOUS FENÒMENS?,
SI, i amb incidència a nivell humà
s'expliquen a partir
de teories establertes (MQ, ...)

Tres idees bàsiques en nanociència

- I. Escala nanomètrica: escala de longituds associades a molts fenòmens físics
- II. Importància dels efectes de superfície
- III. Interacció amb el món biològic

Molts fenòmens físics tenen
escala nanomètrica (δ)

En el món, normalment, els
objectes tenen mides (D) que són

$$D \gg \delta$$

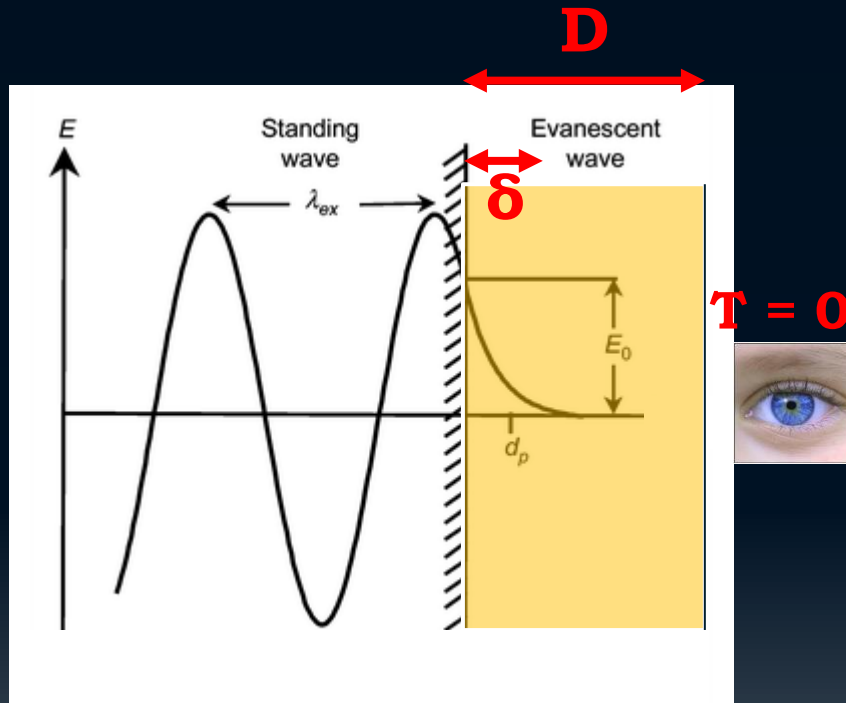
Fenòmens físics

CAMP	PROPIETAT	ESCALA DE LONGITUD δ (nm)
Electrònica	Longitud d'ona electrònica	10-100
	Lliure recorregut mig	1-100
	Túnel	1-10
Magnetisme	Parets de dominis	10-100
	Longitud scattering spin-flip	1-100
Òptica	Pous quàntics	1-100
	Camps evanescents	10-100
	Longitud de penetració en metalls	10-100
Superconductivitat	Longitud de coherència parells de Cooper	0.1-100
	Profunditat penetració Meissner	1-100
Mecànica	Interacció de dislocacions	1-1000
	Fronteres de gra	1-10
	Defecte per nucleació/creixement	0.1-10

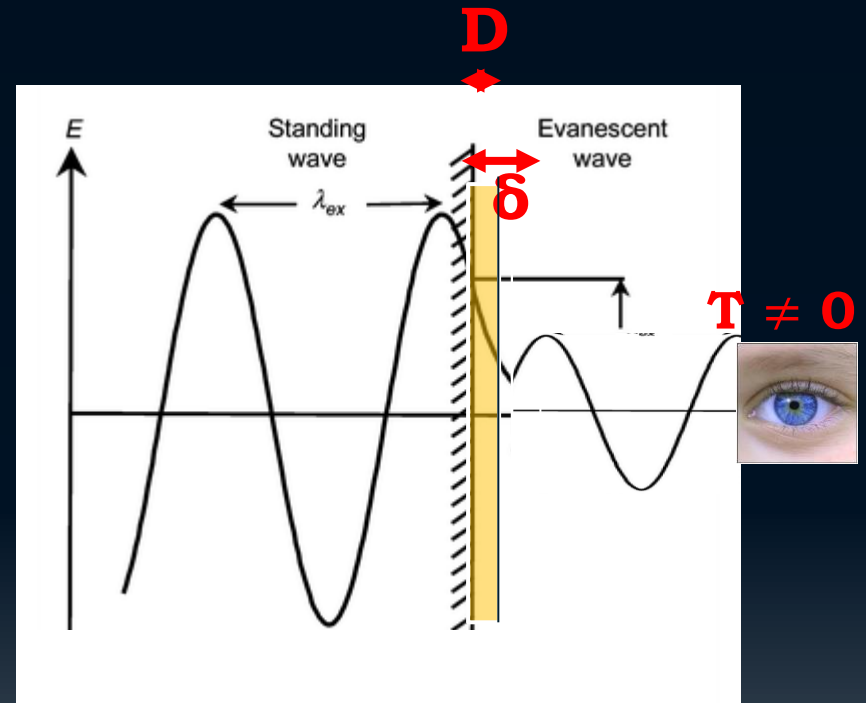
Què passa quan la mida de
l'objecte (**D**) és (o la fem) de
l'ordre nanomètric (**δ**)?

**El comportament físic és
diferent**

Els metalls són sempre opacs?



$$D \gg \delta$$

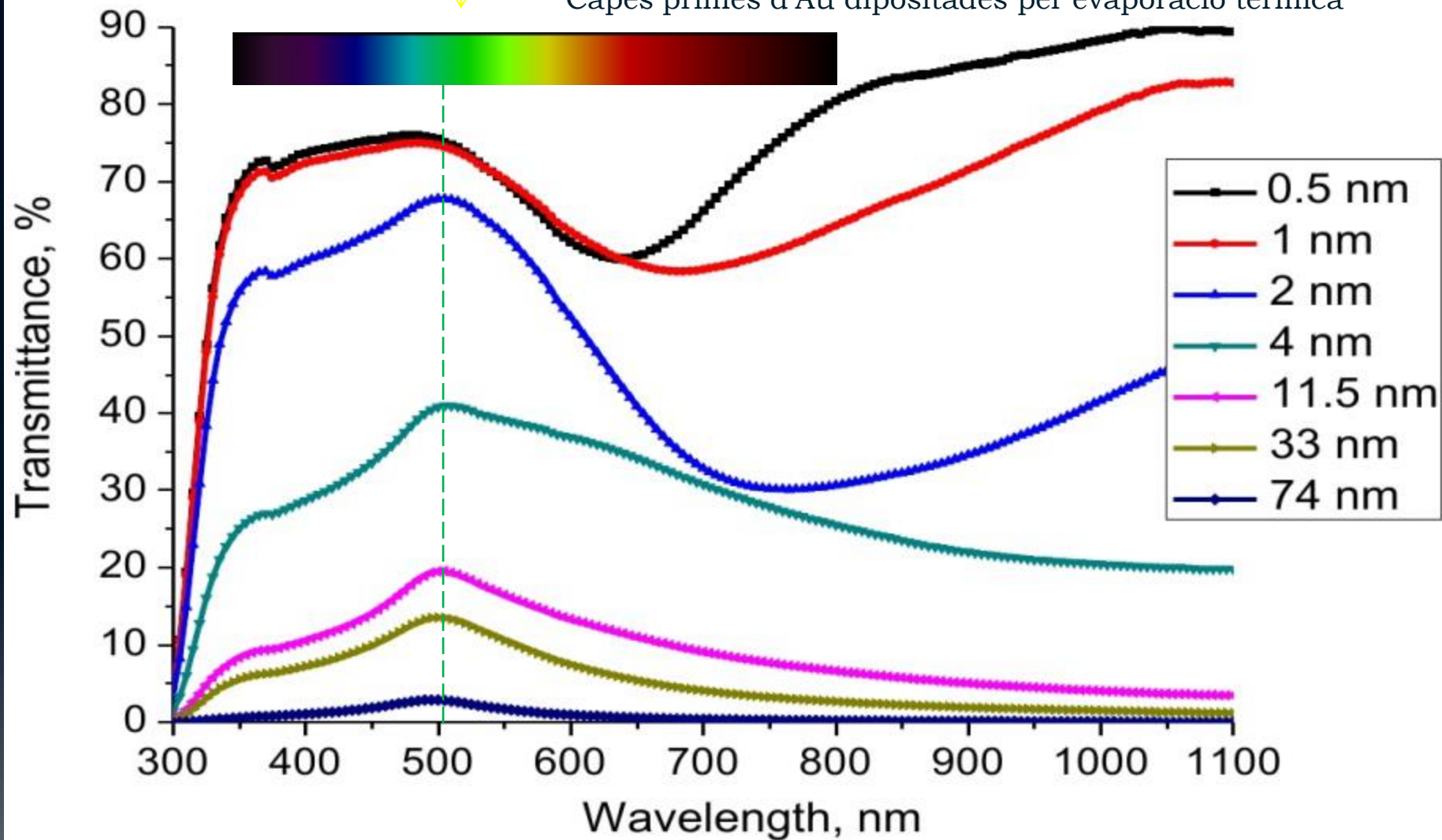


$$D < \delta$$

Penetració de la llum als metalls δ (10-100 nm)

Espectre del visible

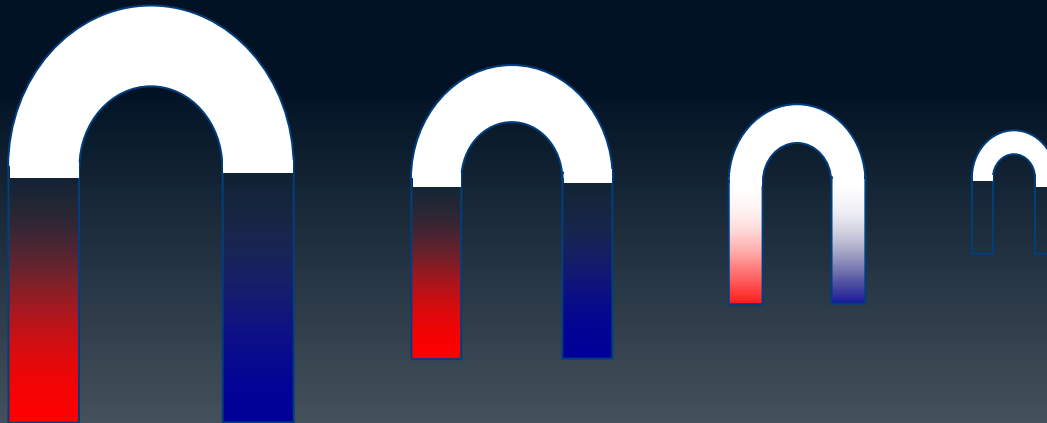
Capas primes d'Au dipositades per evaporació tèrmica



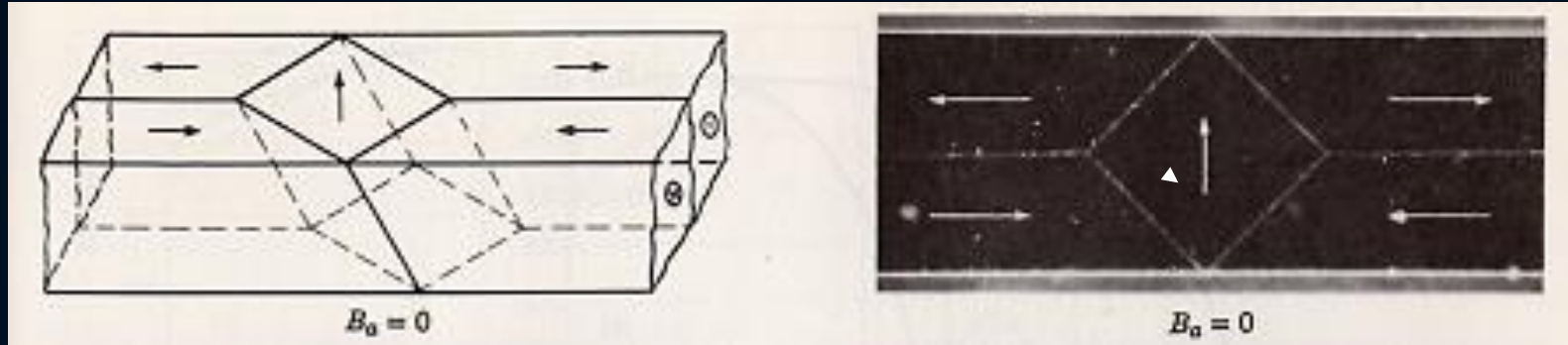
(A.Axelevitch et al., Optics Express 21, 4138 (2013))

Parets de dominis magnètics (δ : 10-100 nm)

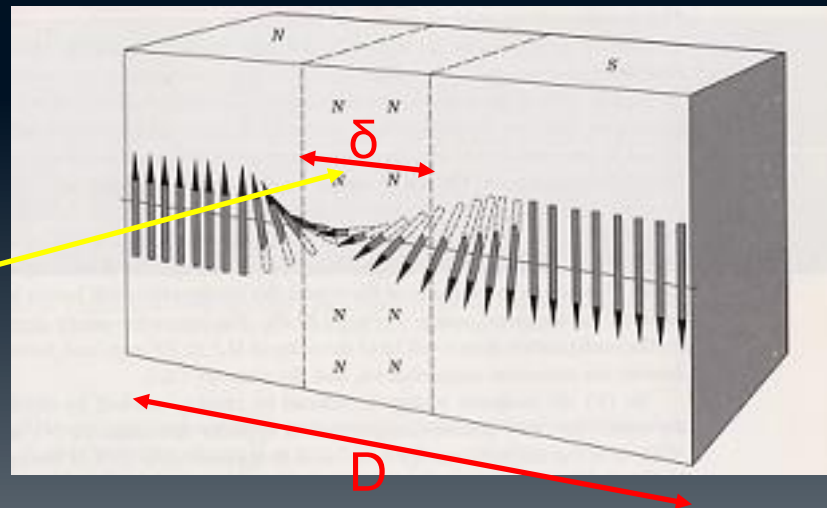
Un imant petit (nano)
deixa de ser un imant !



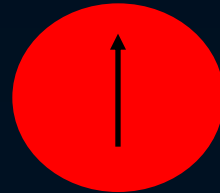
Dominis magnètics ($D \gg \delta$)



Paret de domini
~100 nm

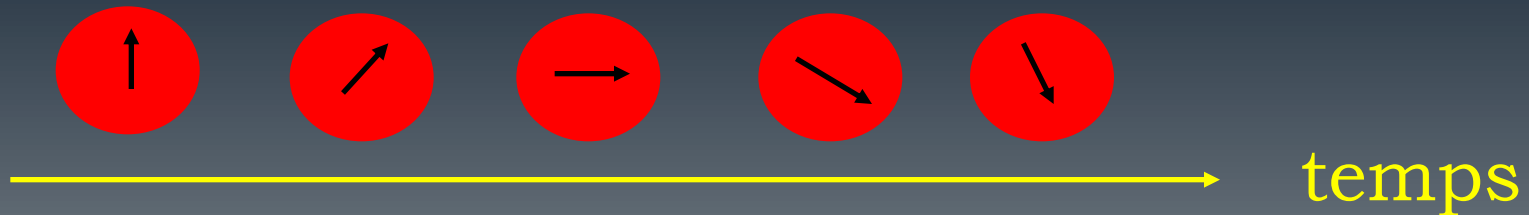


Mida de la partícula $D \sim \delta$ Monodomini !



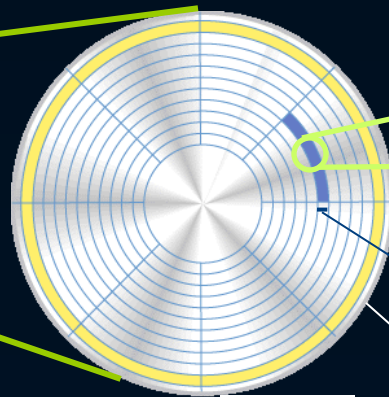
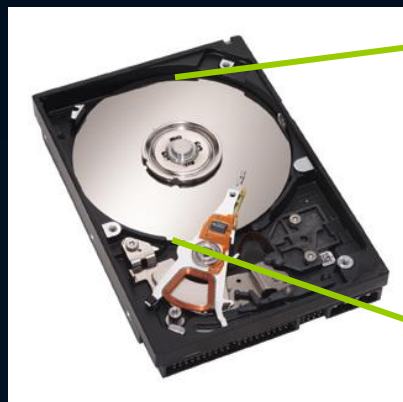
Si $D \ll \delta$ l'energia tèrmica (desordre) és superior a l'energia magnètica:

Comportament paramagnètic
(superparamagnètic)



Emmagatzematge de dades d'alta densitat (disc dur)

10 cm

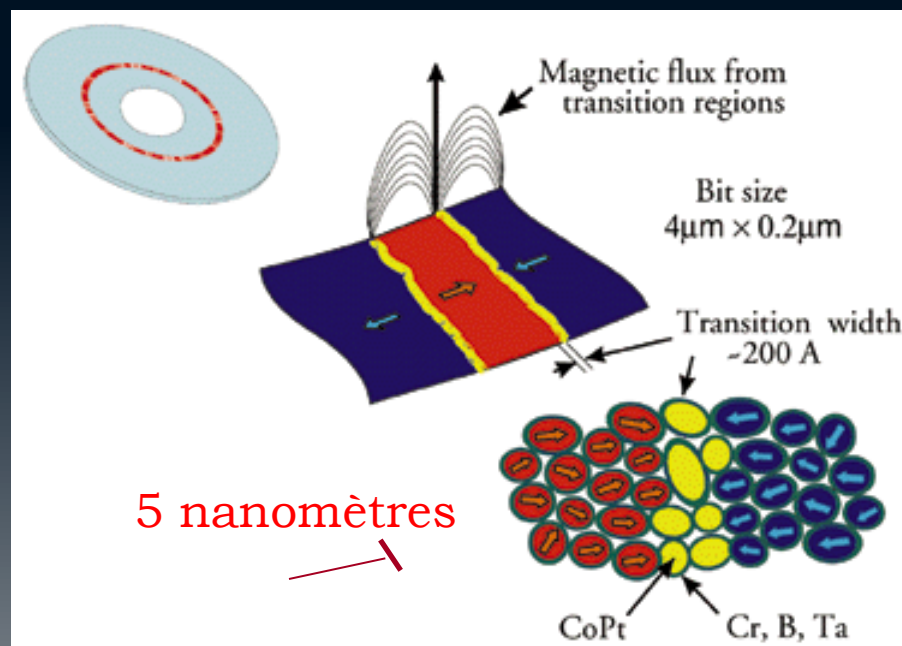


50 nanomètres



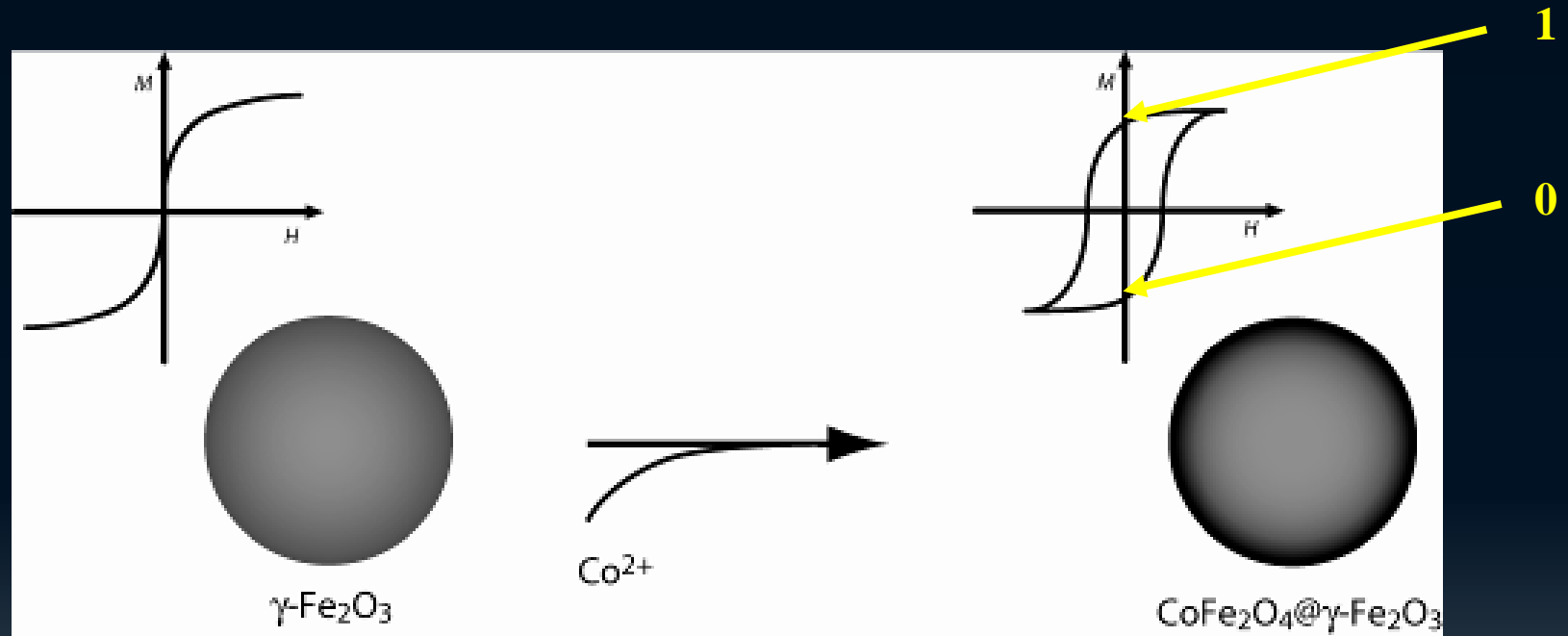
bit

0.5 micromètres

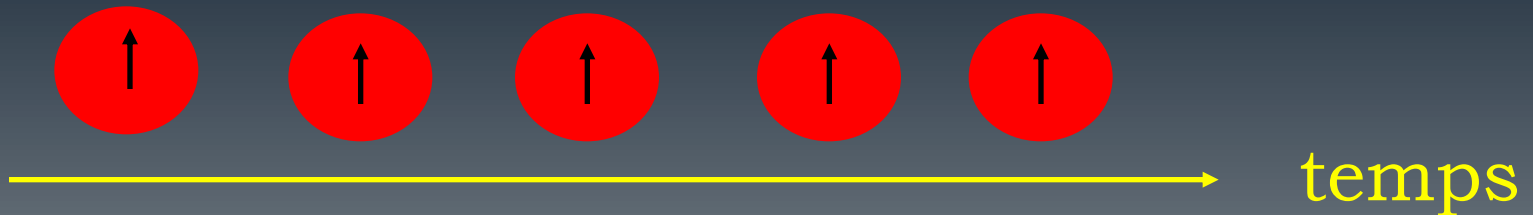


5 nanomètres

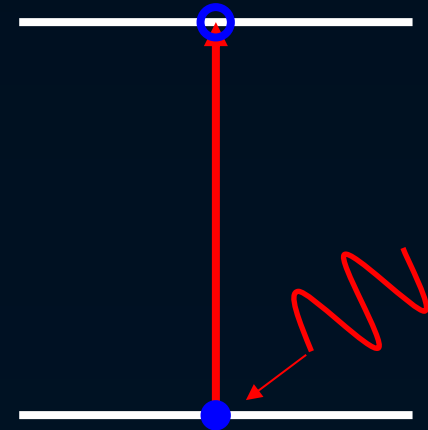
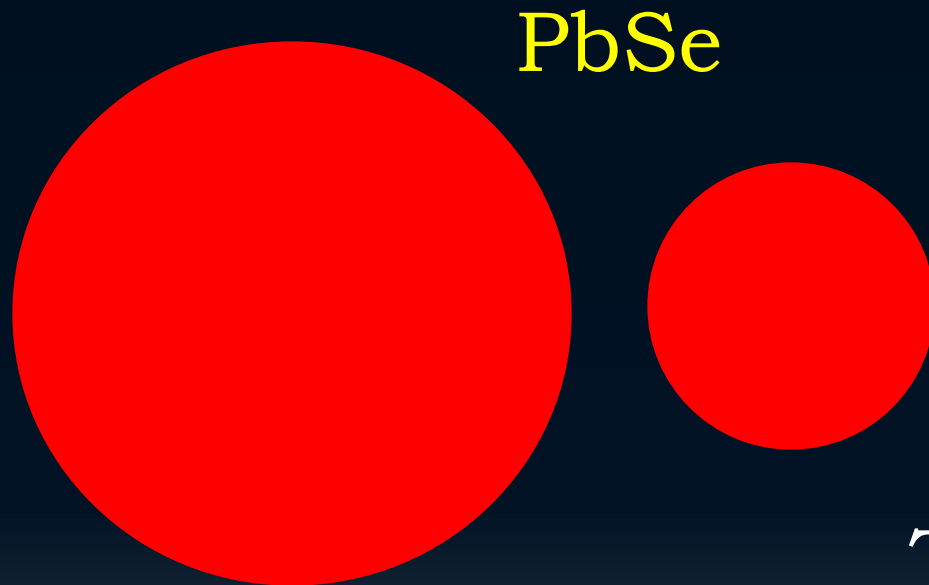
Modificació superficial de NPs per absorció d'ions de Co(II)



(J. Nogués et al., ICN)



Canvi de color amb la mida

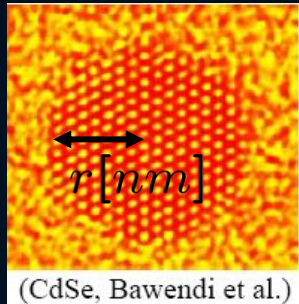


Transicions òptiques
entre

Si fem la NP més petita,
continuarà sent vermella?

Escalat de les propietats amb el diàmetre de la partícula

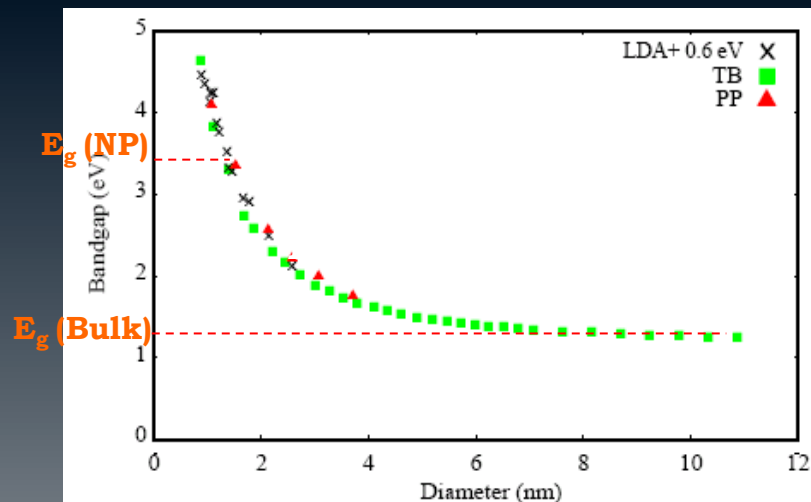
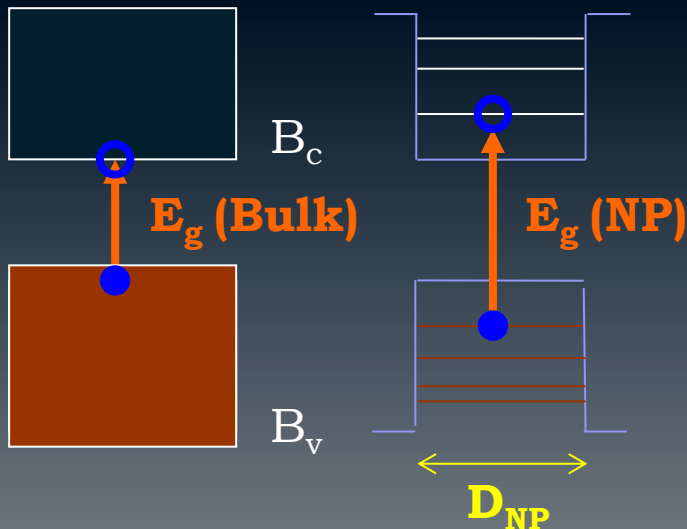
NP



$$E_g = E_g(\text{bulk}) + \frac{\pi^2 \hbar^2}{2r^2} \left(\frac{1}{m_e m_e^*} + \frac{1}{m_h m_h^*} \right) - \frac{1.8 e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Terme confinament quàntic

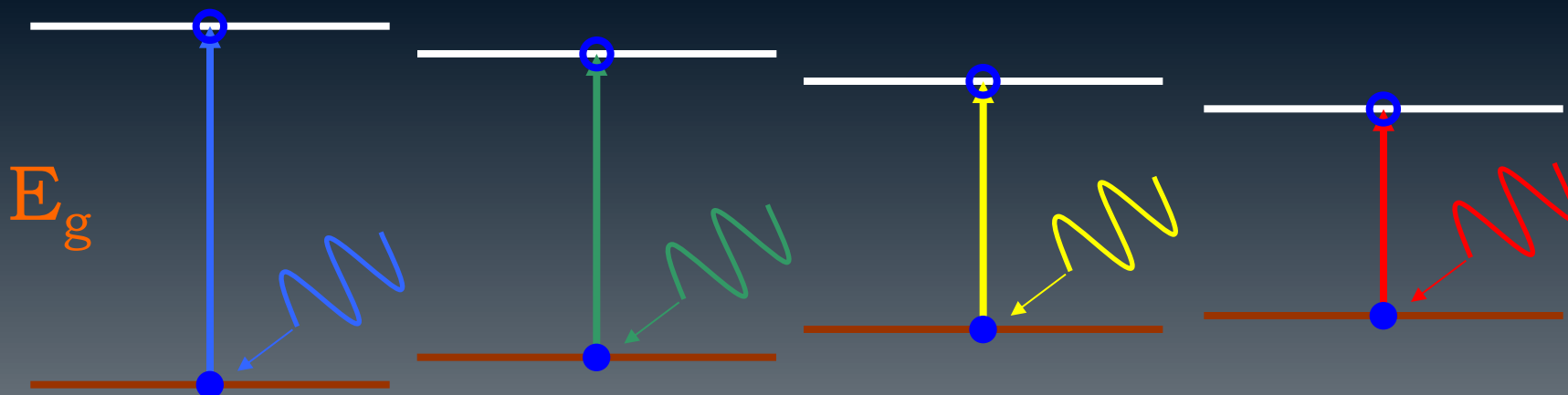
Terme coulombià degut a la creació d'un parell electró-forat (excitó)



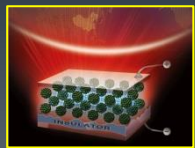
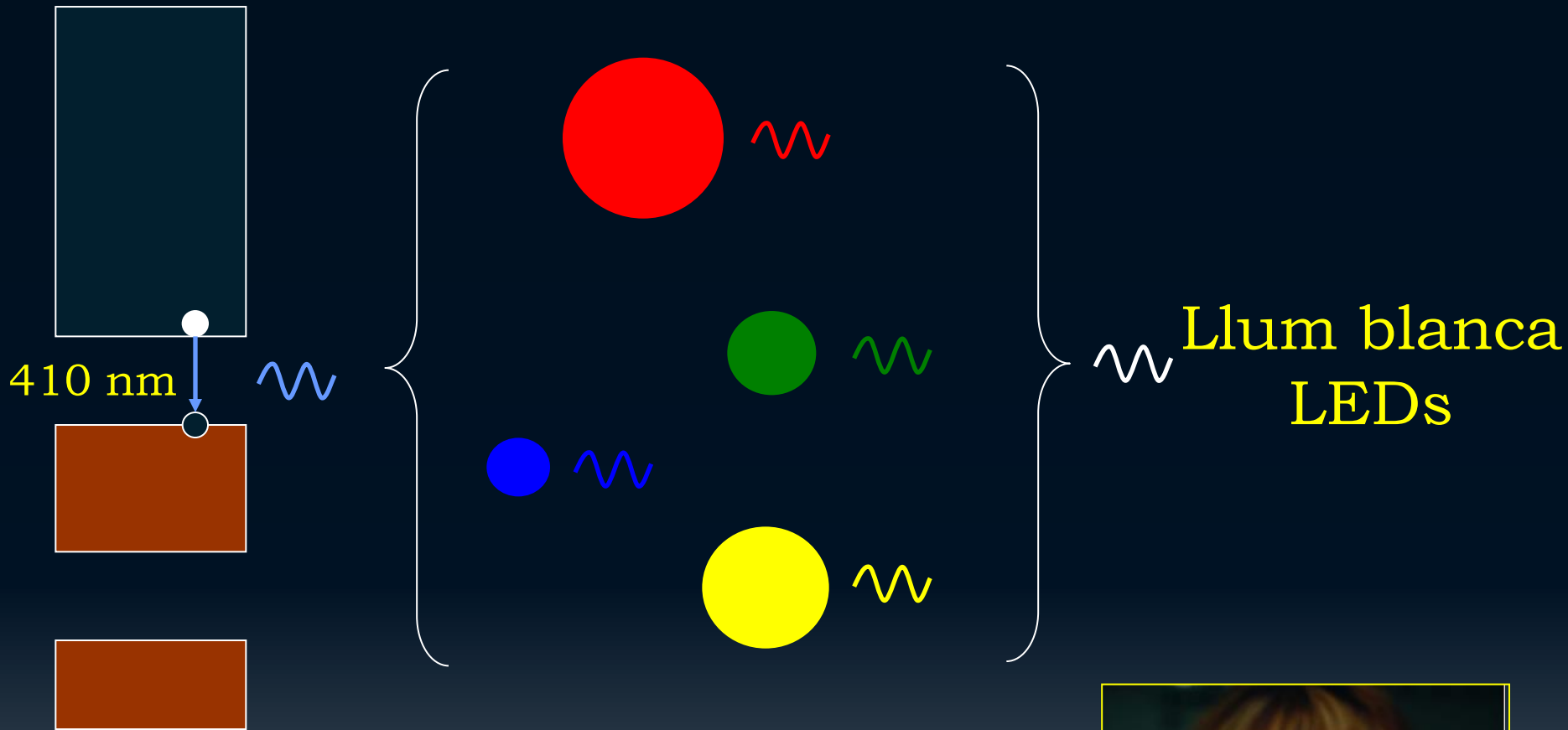


(Fonamentalment)
confinament quàntic

Radi (nm) 0.9 1.4 1.9 2.4

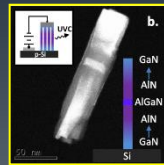


LED



QLEDs

(X. L. Dai et al., Science 29/10/2014 on line)



QWLEDs

(T. F. Kent et al., Nanotechnology 25, 455201 (2014))



(J. Simmons, SNL)



LED blau de semiconductor
Premi Nobel Física 2014



Torre Agbar



LEDs: 10 vegades
més eficients que
les bombetes
incandescents

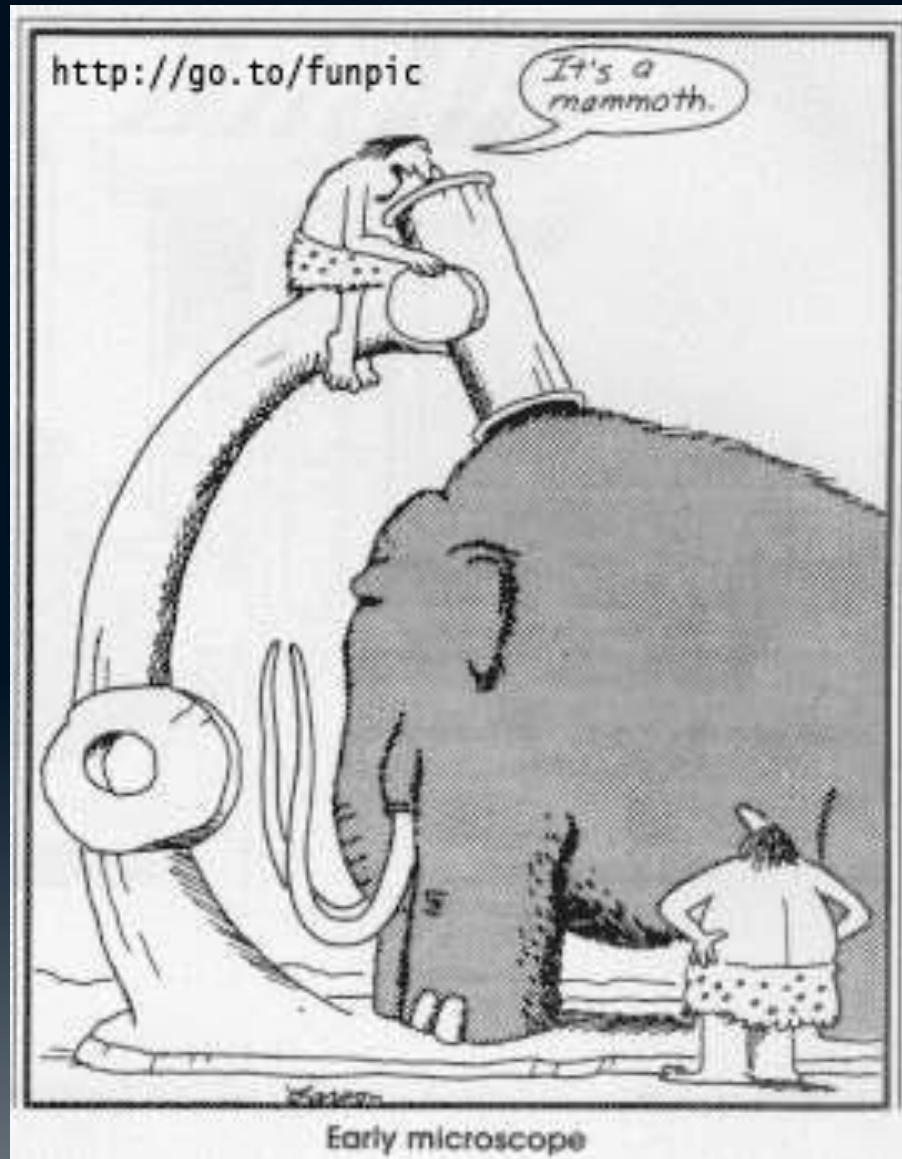
7 Poetes
Jaume Plensa
(Andorra la Vella)



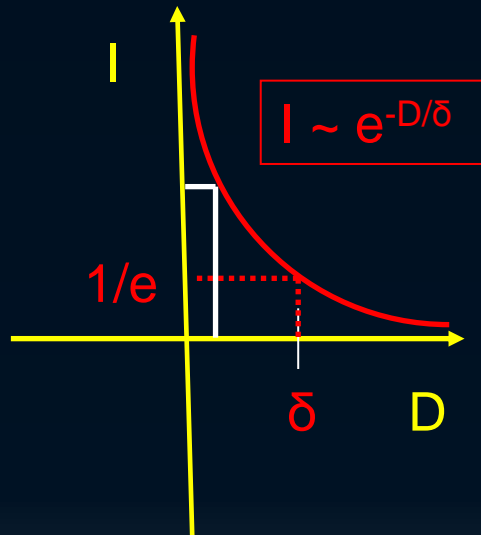
III

Scanning Tunneling Microscope (STM): la primera eina *nano*

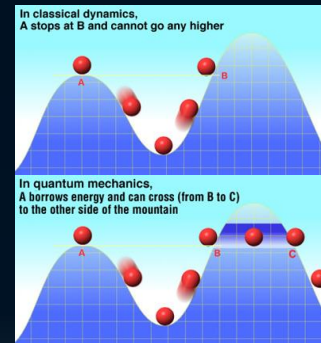
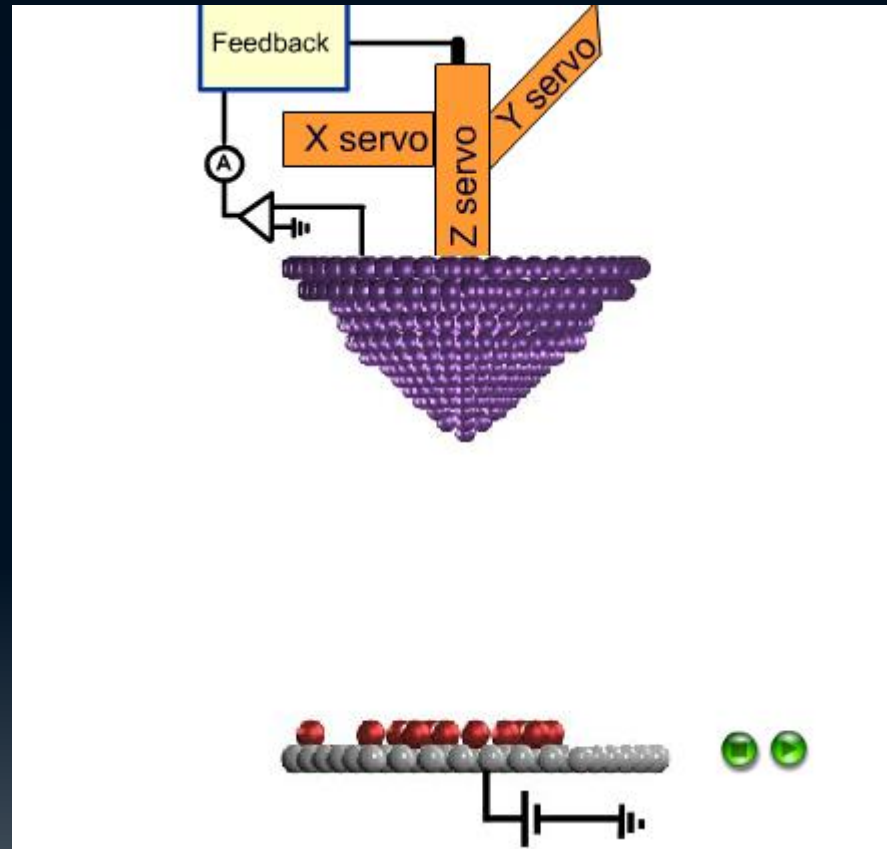
Necessitem un nanoscopi!



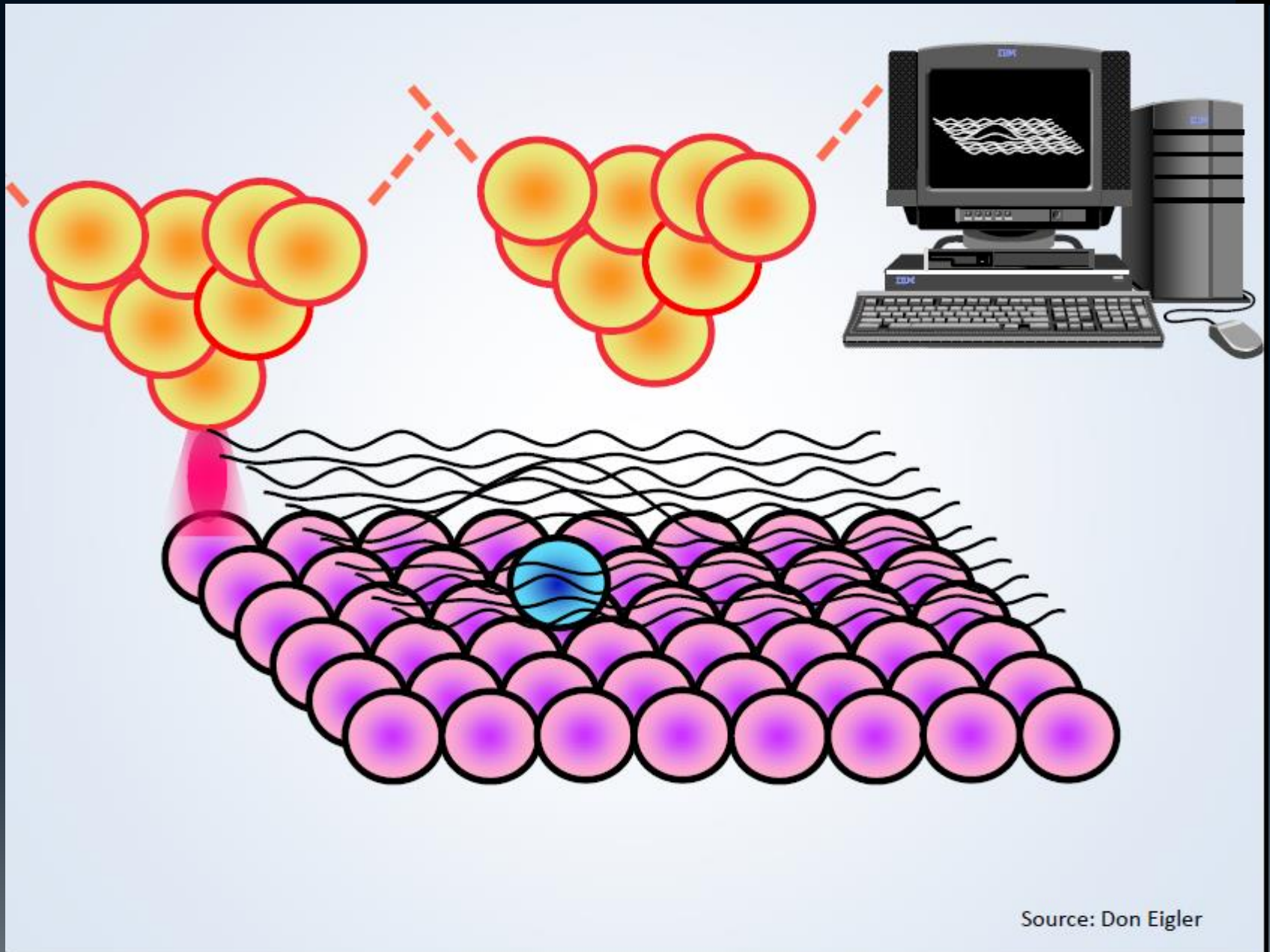
STM: Funcionament



Comportament
exponencial !!!

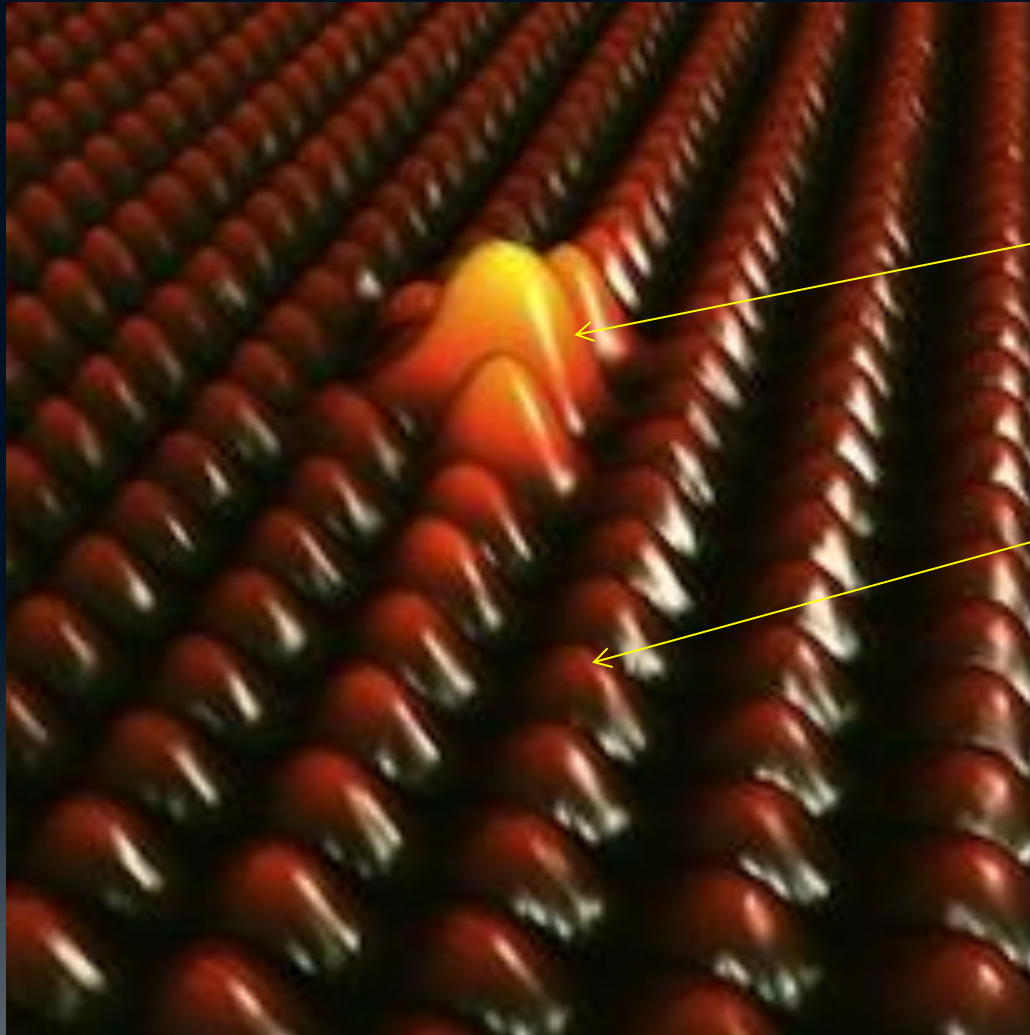


Estudi topogràfic de la superfície: mantenint
 I constant, D serà també constant



Source: Don Eigler

Topografia a escala nanomètrica

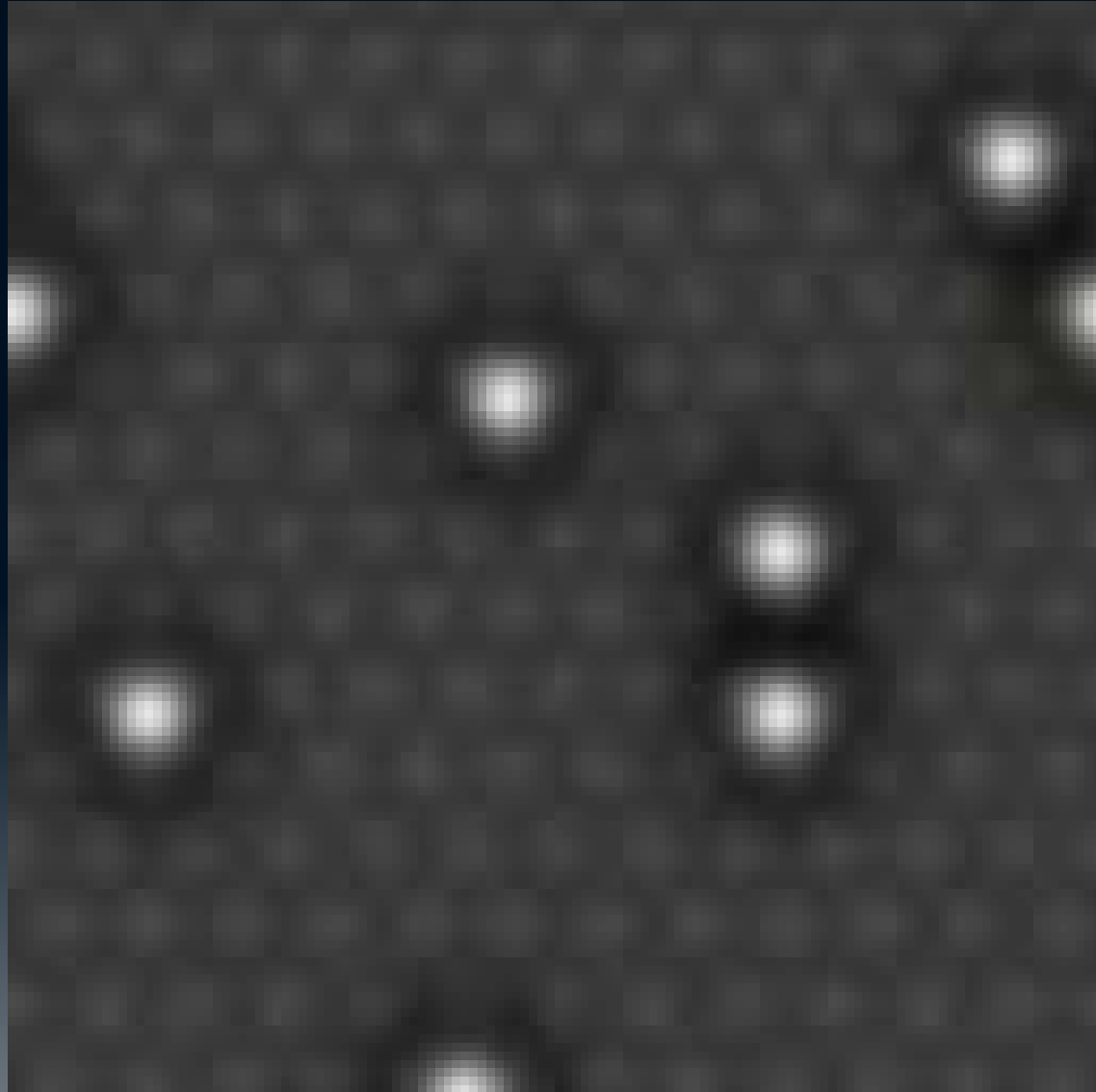
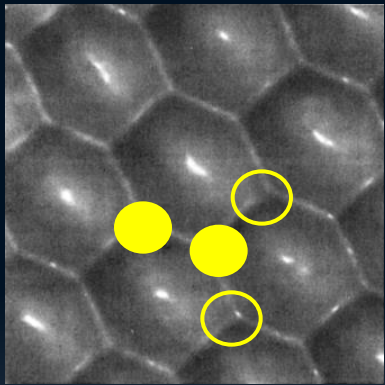


Sb

Si(111)2x1

<http://www.london-nano.com/research-and-facilities/themes/techniques/scanning-probes>

Difusió atòmica en superfícies

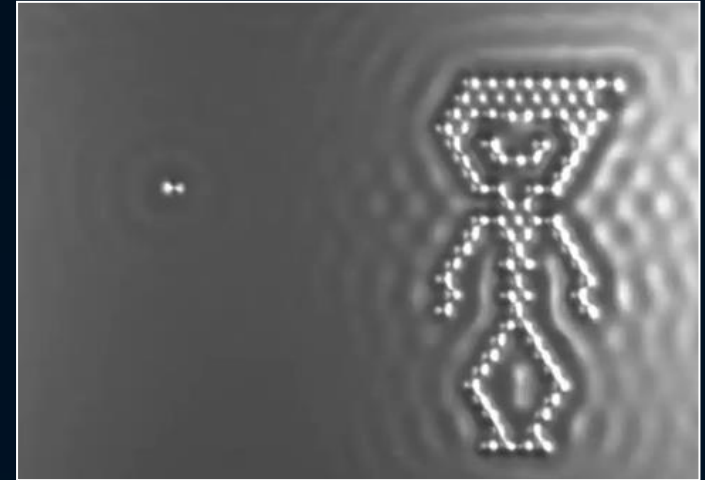
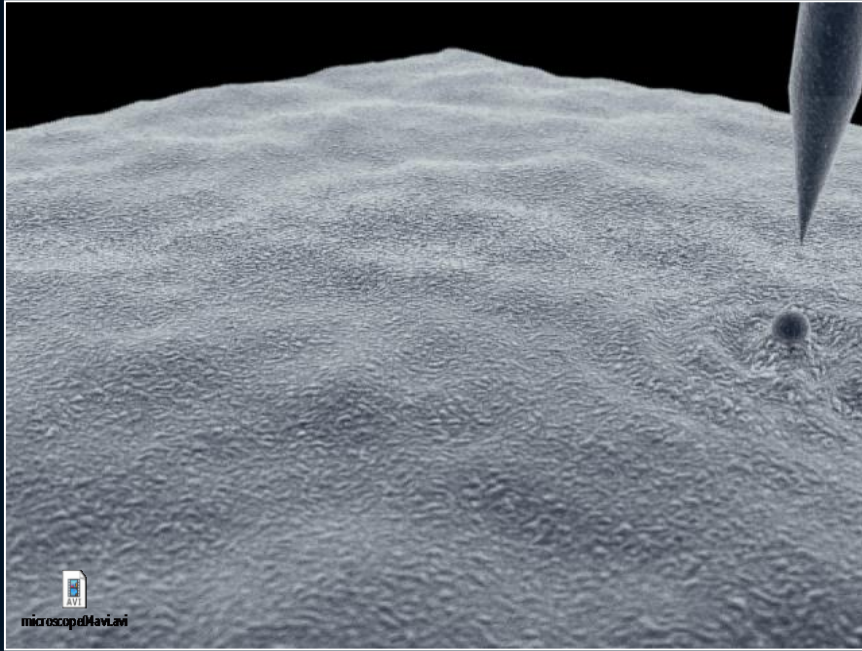


(M. Salmeron, LBL)

14/11/2014

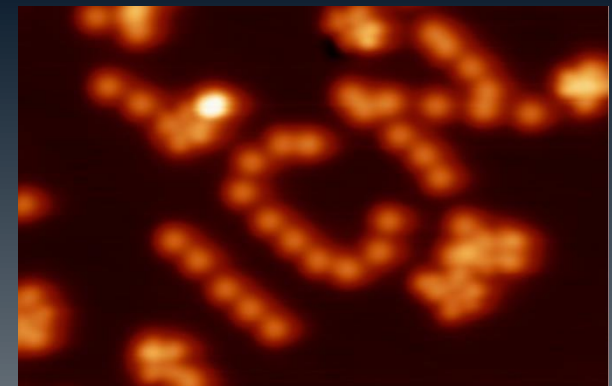
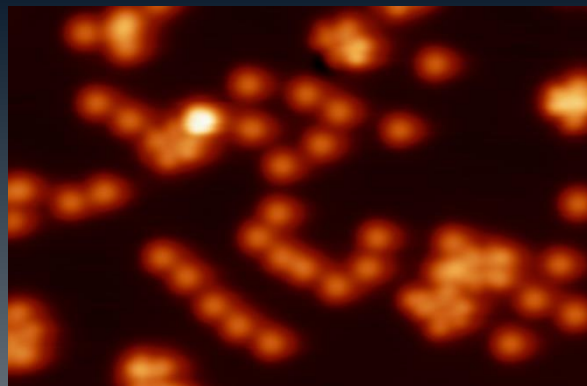
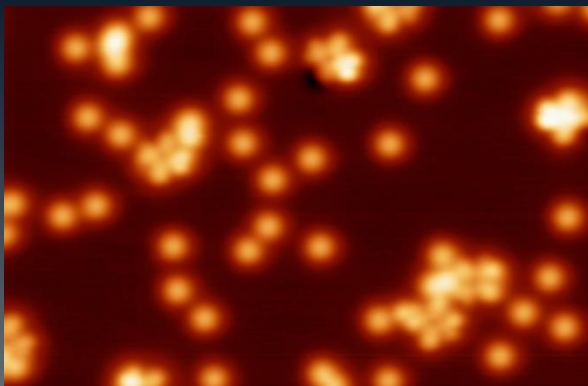
J. Pascual - Sant Albert 2014

Manipulació atòmica



A Boy And His Atom: The World's Smallest Movie

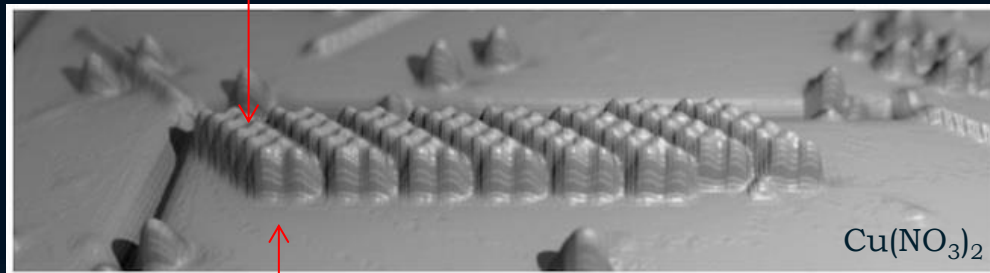
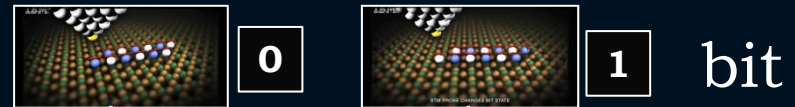
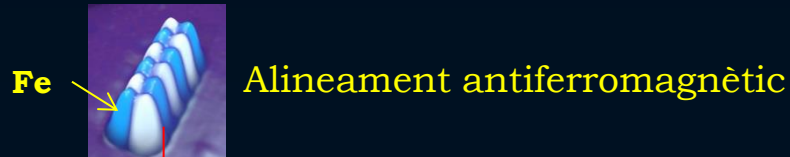
<http://www.youtube.com/watch?v=oSCX78-8-q0>



(P. Gambardella et al., ICN)

Memòria magnètica a escala atòmica

(Reducció d'1M d'àtoms a 12 àtoms per crear un bit)



96 (12x8) àtoms = 1 BYTE



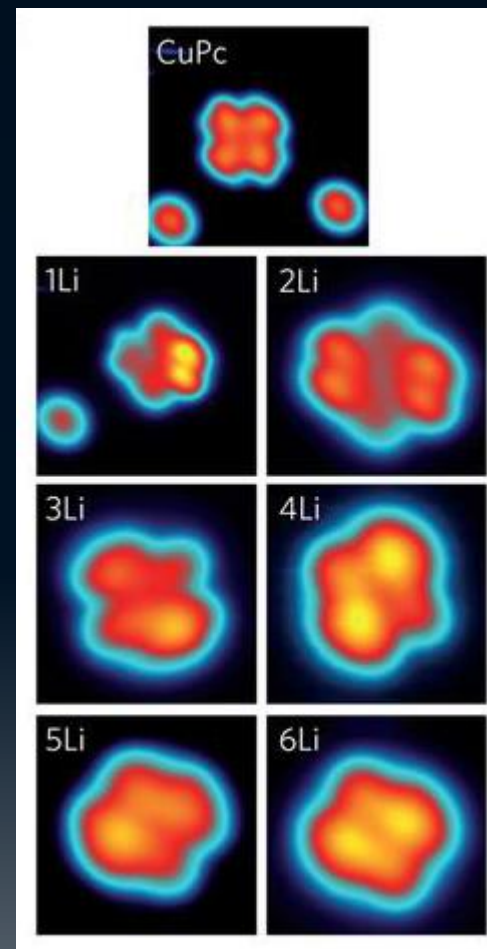
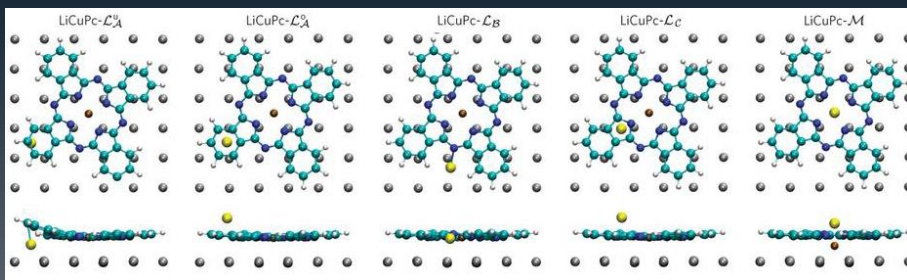
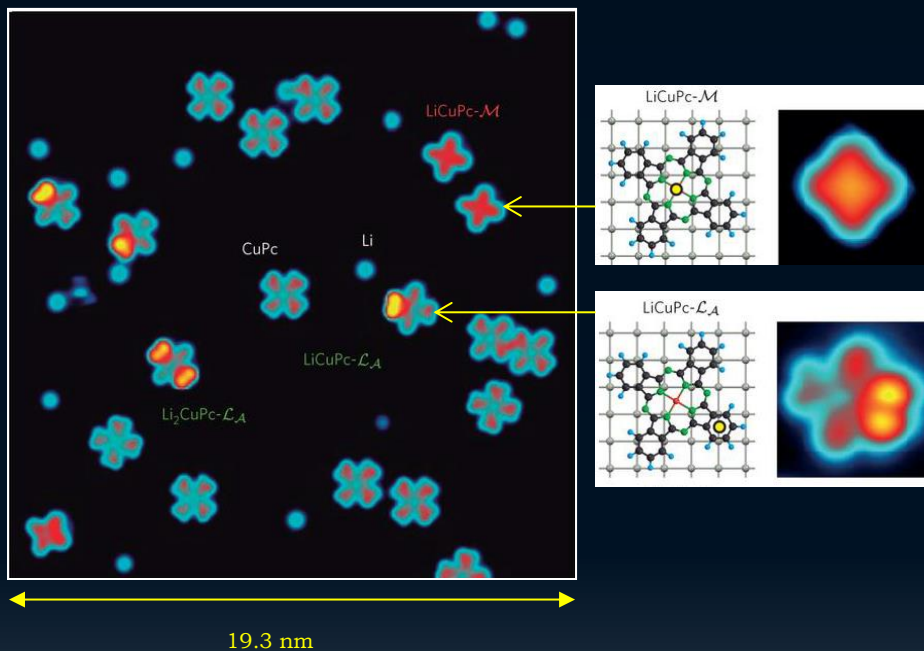
Exemple: escriure la paraula THINK
(N'hi ha prou amb 5 BYTES: 480 àtoms)

www.youtube.com/watch?v=f2OKVOmODC8



Pthalocianina

Dopatge de molècules ($\text{Li}_x\text{CuPc}/\text{Ag}(100)$)



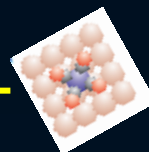
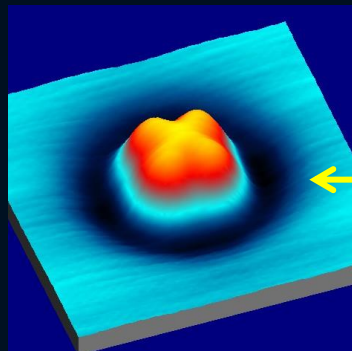
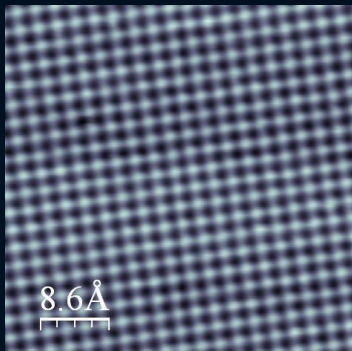
$\text{Li}_x\text{CuPc}/\text{Ag}(100)$

(C. Krull et al., Nature Materials, 12, 337 (2013))

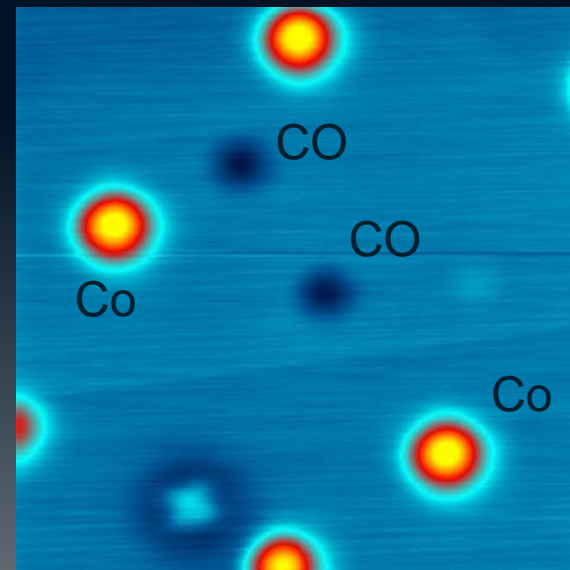
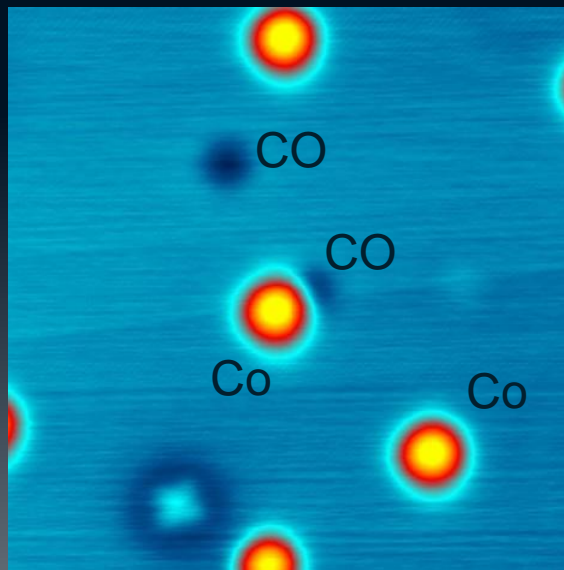
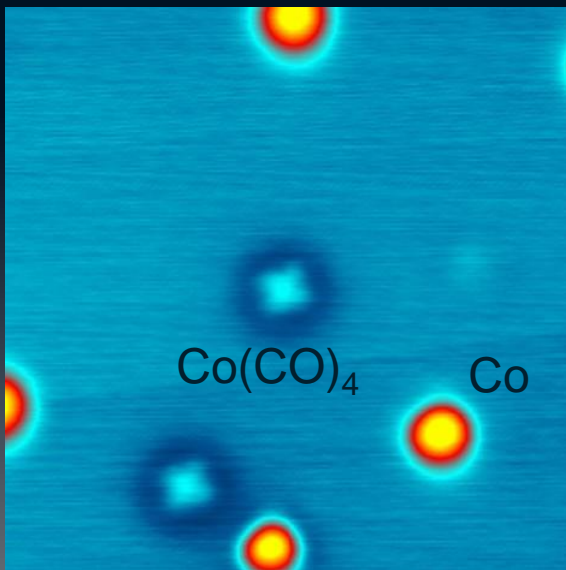
Trencant enllaços

Cu(100)

Co(CO)₄/Cu(100)

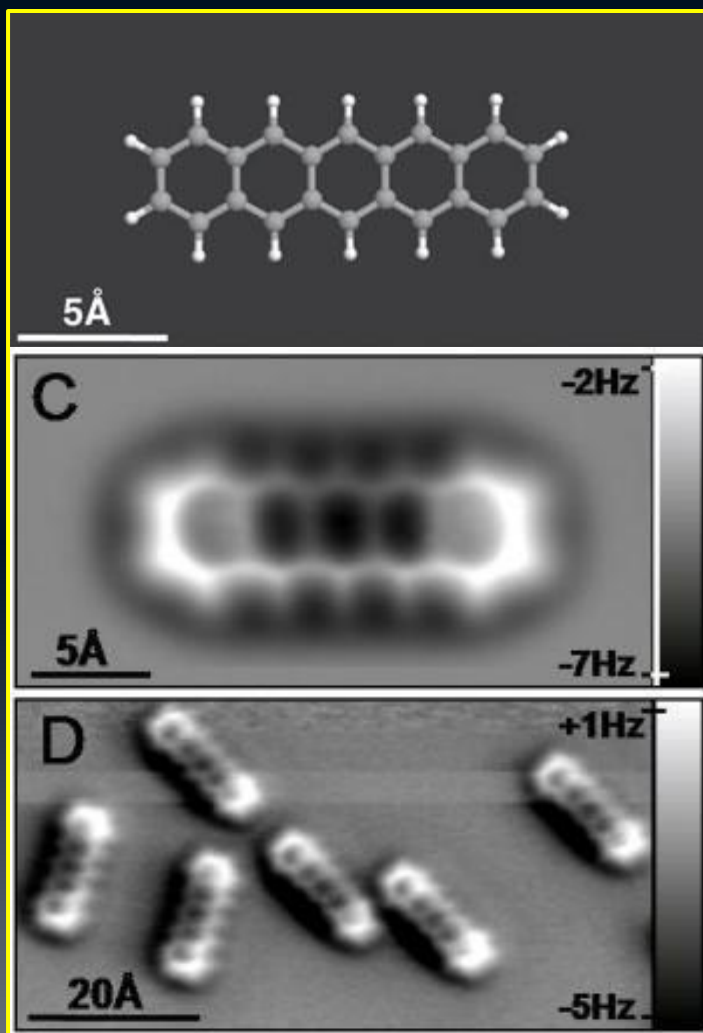


L'ordre de magnitud de les forces que calen per trencar enllaços químics als materials inorgànics és $\sim 1 \text{ eV}/1 \text{ Å} \sim 1 \text{ nN}$



(P. Gambardella et al., ICN)

Estructura química de les molècules



Vista mitjançant AFM del pentacè (C₁₄H₂₂)

Clau de la resolució atòmica (AFM): el principi d'exclusió de Pauli (la repulsió és diferent en diferents parts de la molècula en funció de la densitat de càrrega)

(L. Gross et al., Science 325, 1110 (2009))

El món nano també interroga qüestions bàsiques: alguns exemples....

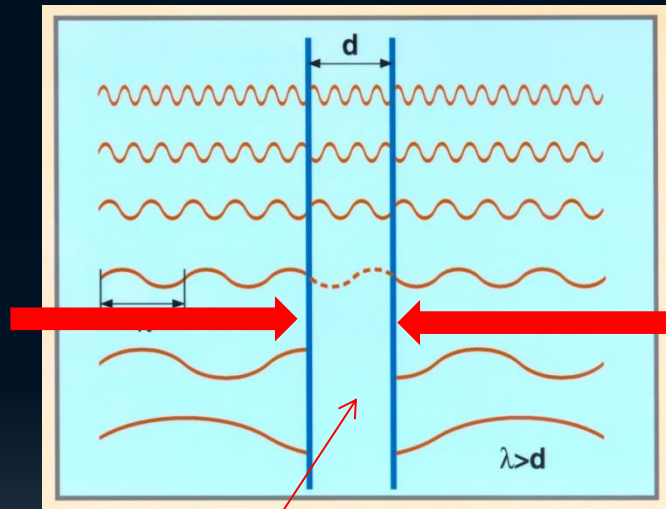
Complexitat del buit: atrapant fotons *virtuals*

Segon principi de la termodinàmica

Metrologia (quàntica) i sistema d'unitats SI

Complexitat del buit: atrapant fotons *virtuals*

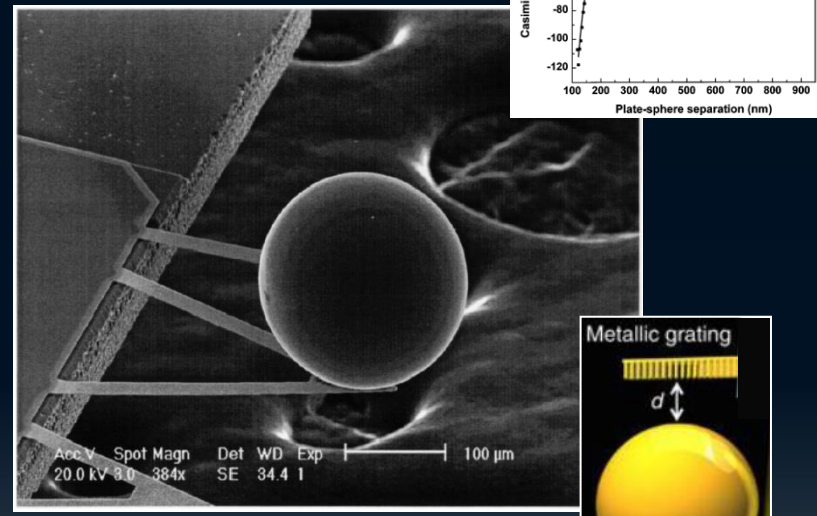
Efecte Casimir estàtic



Menys fluctuacions del buit
("supressió" de fotons virtuals)



Força atractiva



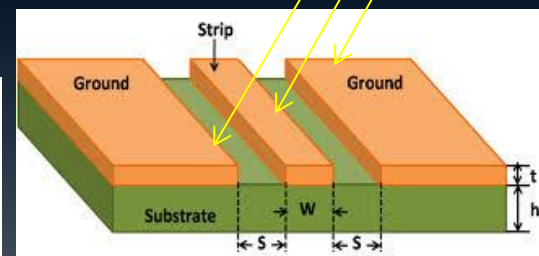
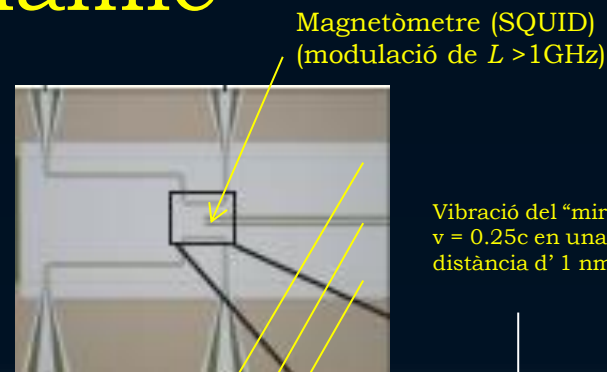
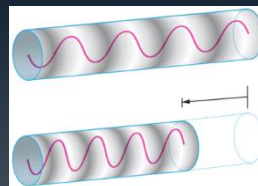
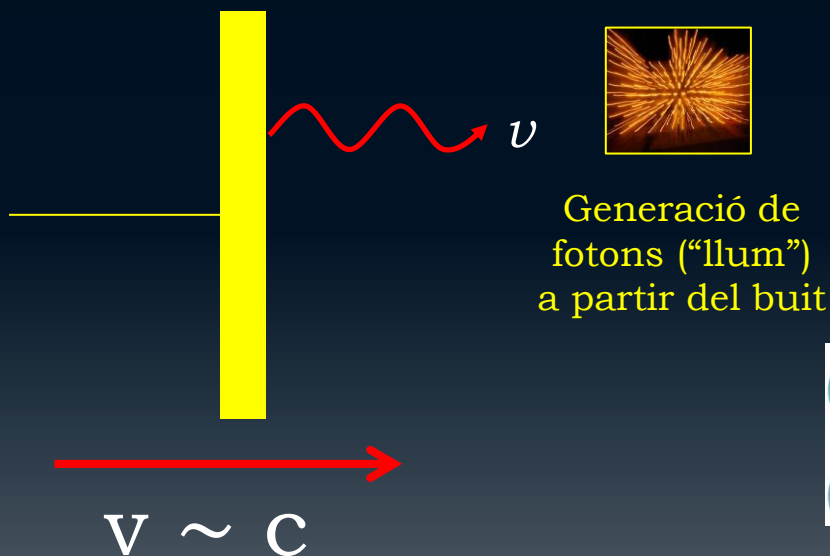
$$F_{\text{Casimir}} \sim 1 \cdot 10^{-13} \text{ N} \pm 5.5 \text{ pN}$$

(U. Mohideen et al., Phys.Rev.Lett, 81 4549 (1998))

(F. Intravaia et al., Nature Comm. 4, 2514 (2013))

Es poden atrapar els fotons “virtuals” del buit?:

Efecte Casimir dinàmic



Línia de transmissió coplanar

$f \rightarrow$ generació de parells de
fotons (reals) amb freqüència $f/2$

(C. M. Wilson et al., Nature 479, 376 (2011))

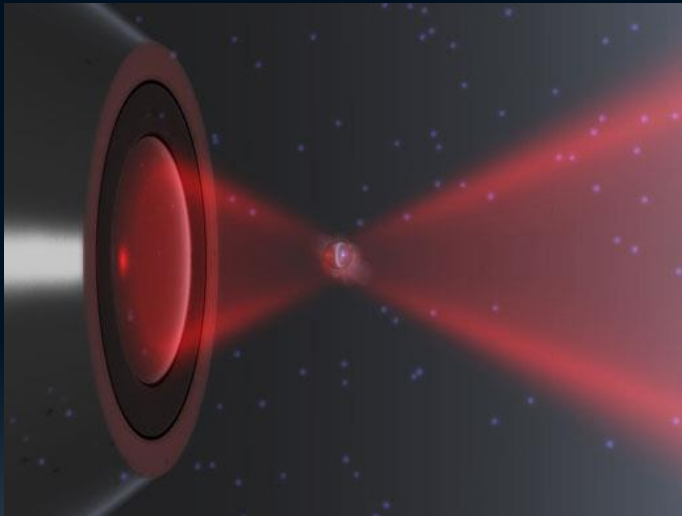
Segon principi de la termodinàmica

(L'entropia d'un sistema macroscòpic no decreix espontàniament, afavorint el desordre a l'ordre)

i a nivell nanoscòpic?

Ocasionalment podem observar fenòmens
que no passen a nivell macroscòpic

Una NP atrapada amb llum làser que “viola” temporalment la 2a lleï de la termodinàmica



La NP de SiO_2 ($d = 75 \text{ nm}$, $m = 3 \cdot 10^{-18} \text{ Kg}$)
levita (gradient de forces) i es belluga
degut a col·lisions amb les molècules de
l'entorn

$$T_{\text{NP}} < T_{\text{Entorn}}$$



Estat de no-equilibri



Relaxació (tornada a l'estat d'equilibri)

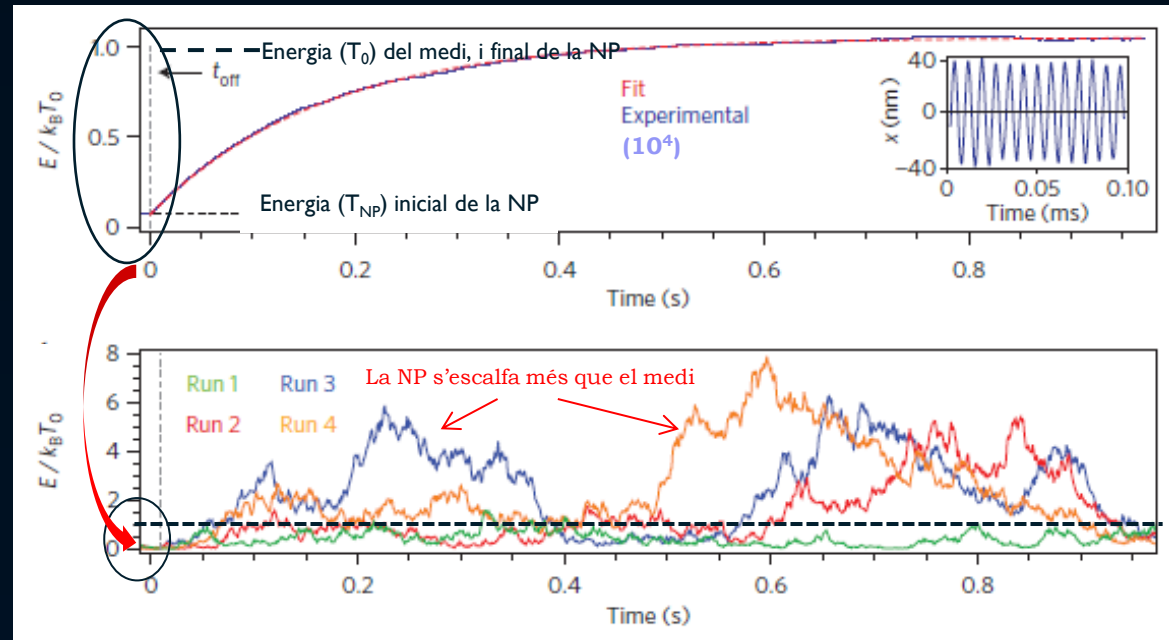
De vegades (rarament) la NP dóna
calor al medi, contràriament a
l'esperat. Això mostra “limitacions” de
la 2a llei de la termodinàmica a la
nanoescala.

Explicació:

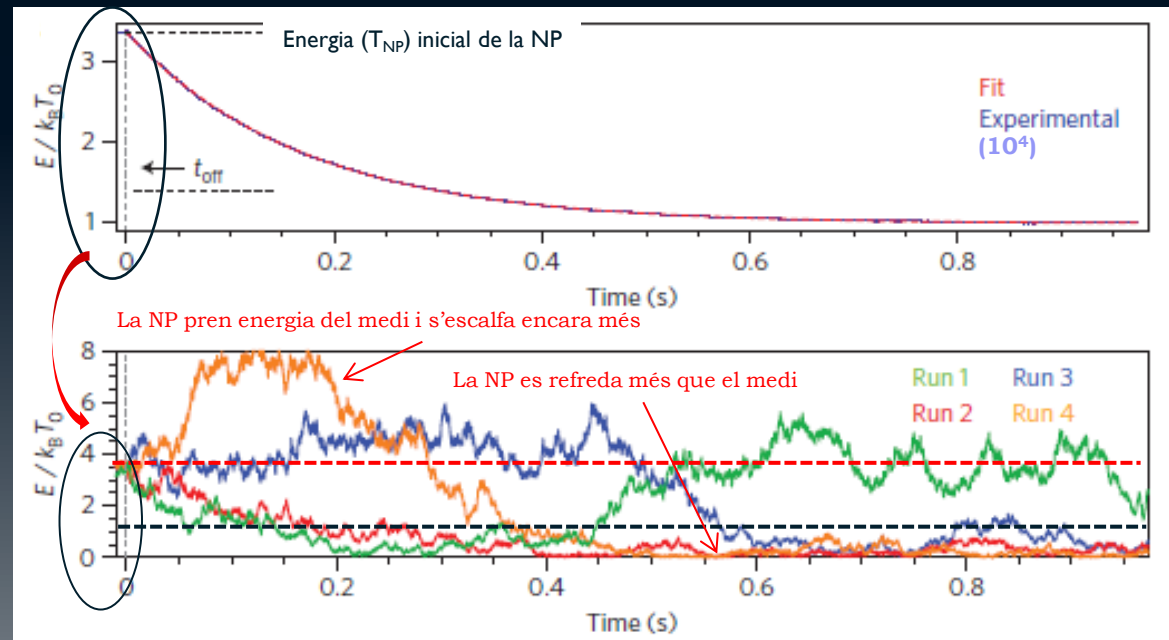
Teoremes de fluctuació de no-equilibri

(J. Gieseler et al., Nature Nanotechnology 9, 358 (2014))

Relaxació de la NP
des de l'estat de no-
equilibri amb
temperatura inferior
al medi



Relaxació de la NP
des de l'estat de no-
equilibri forçat, amb
temperatura
superior al medi



Metrologia (quàntica)

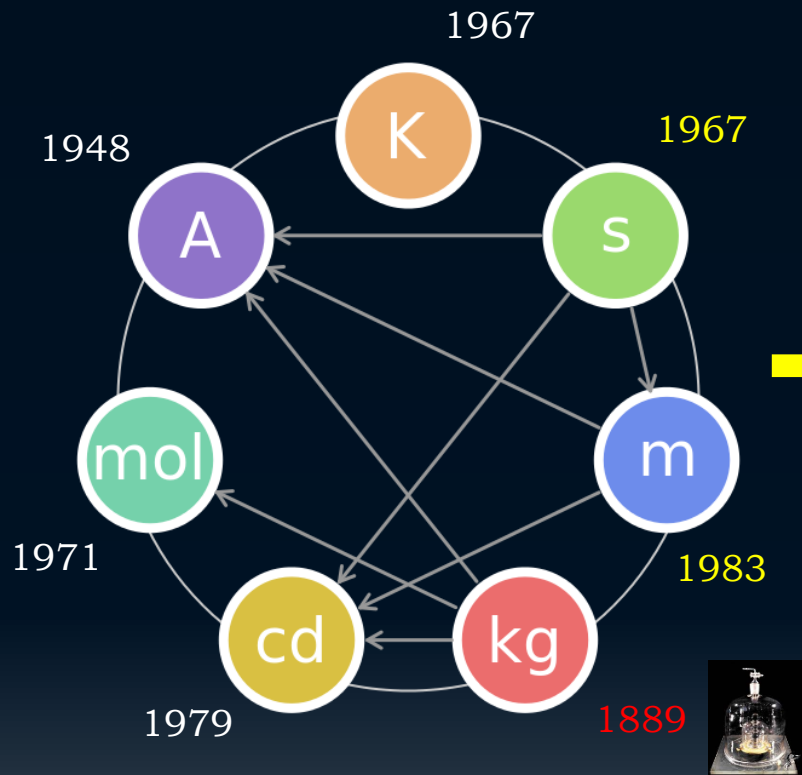
Objectiu

Revisar el SI d'unitats de manera que cada unitat es defineixi a partir de constants fonamentals o mitjançant propietats d'àtoms individuals

Problema obert

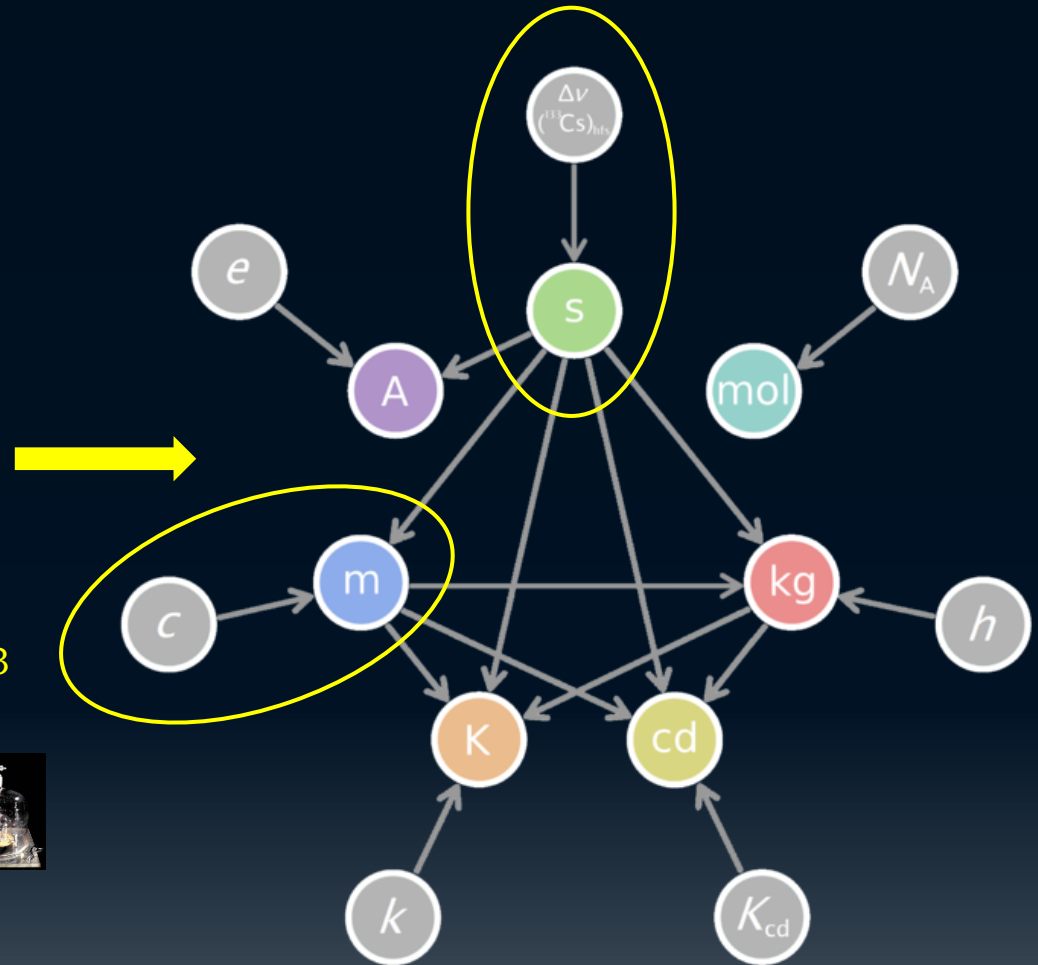
Relacionar aquestes constants amb quantitats mesurables que siguin “exactes”

Sistema SI d'unitats



Les 7 unitats bàsiques i les seves interdependències

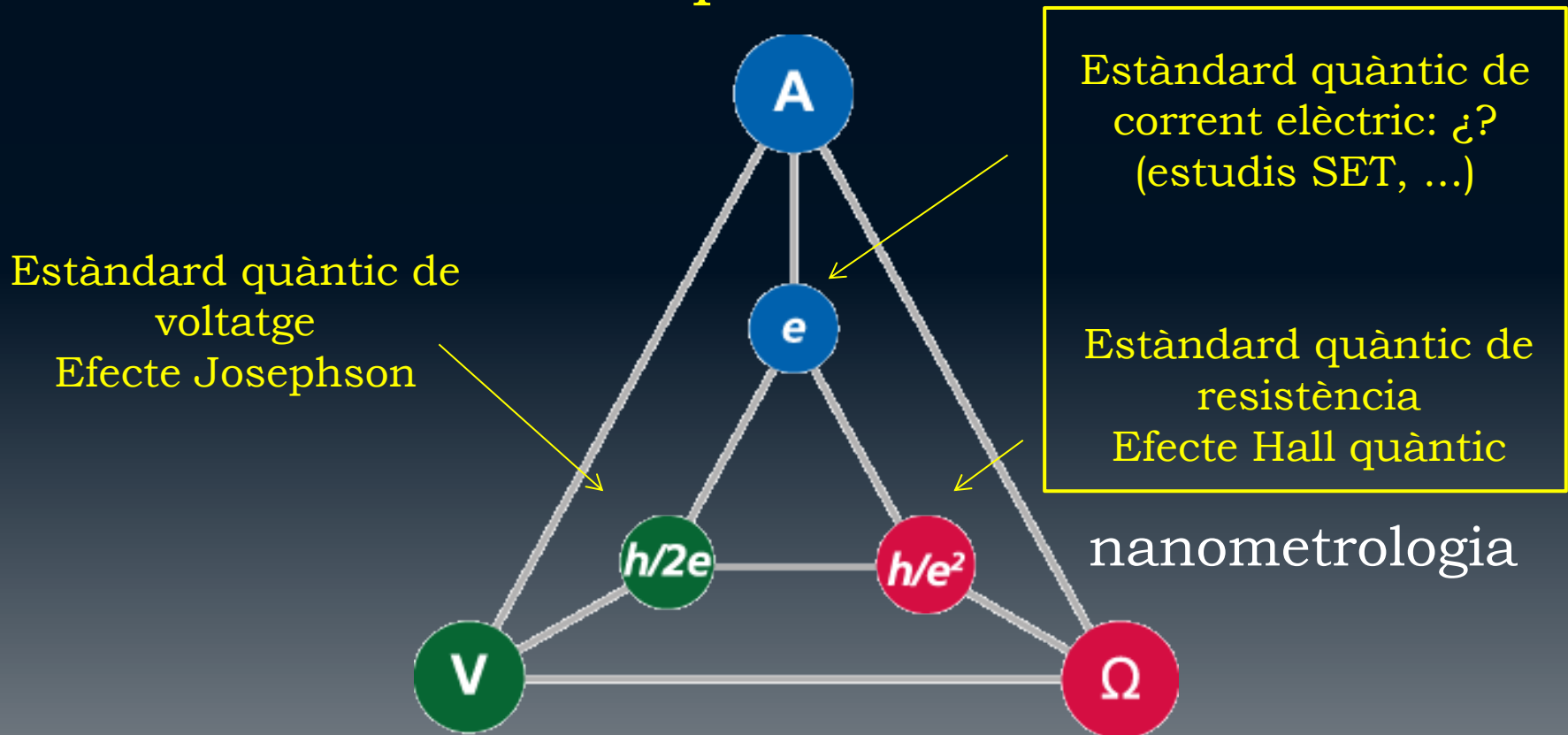
25th meeting GCWM, 18-20 Nov. 2014
No hi haurà noves definicions en termes de constants físiques

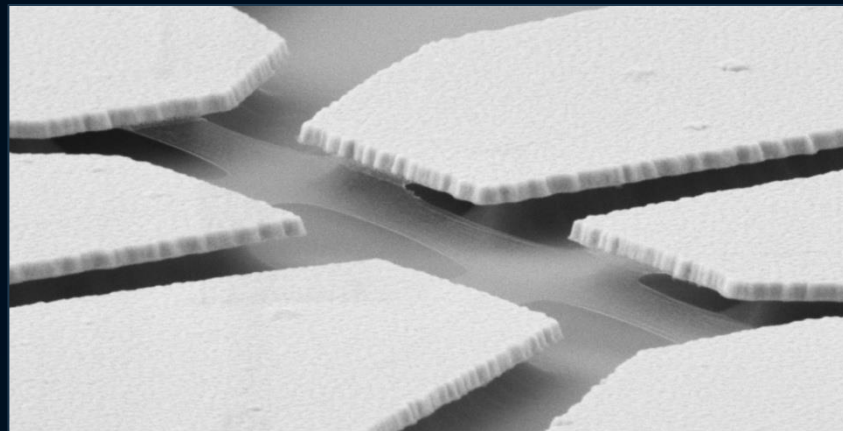


SI proposat:
dependència de les 7 unitats bàsiques de les constants físiques

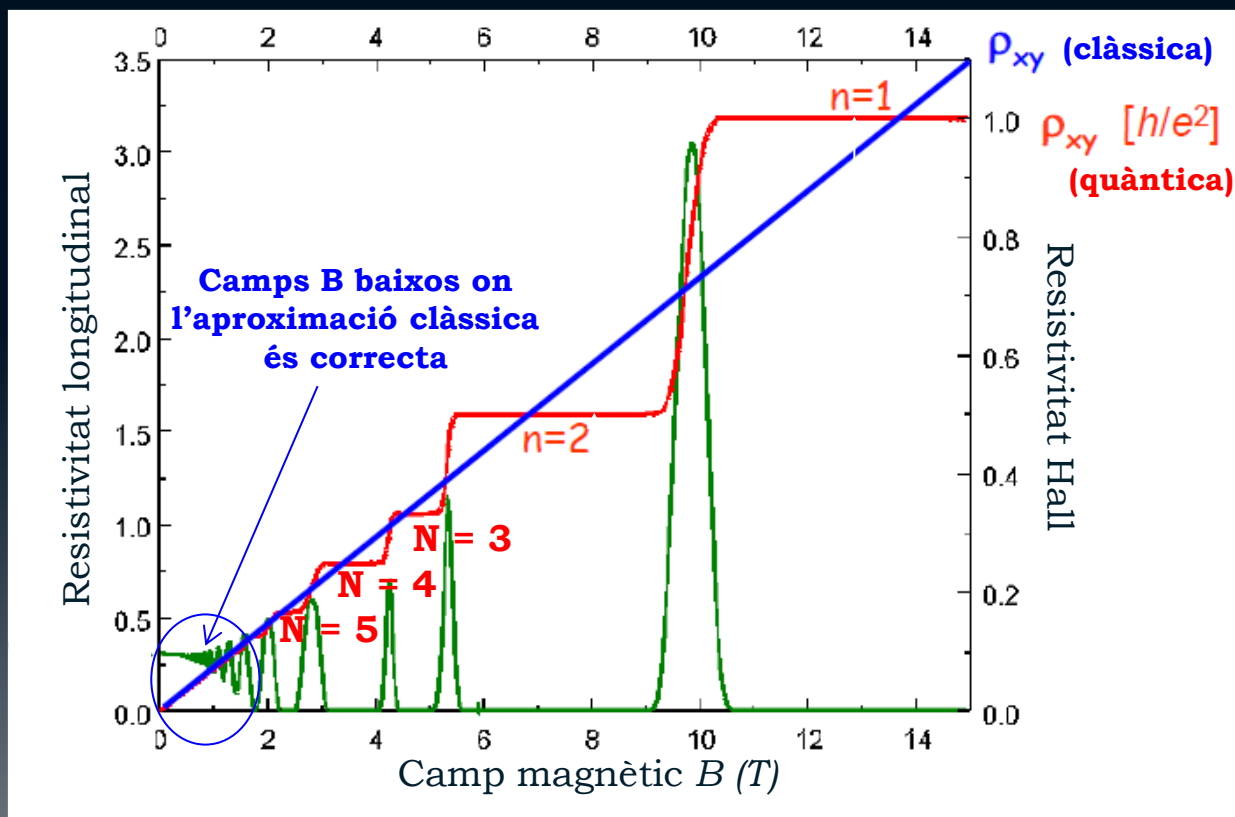
Cas de les unitats de quantitats elèctriques

Es poden relacionar amb dues constants fonamentals (e i h) a partir d'estàndards quàntics





(A. Bachtold et al., ICN)

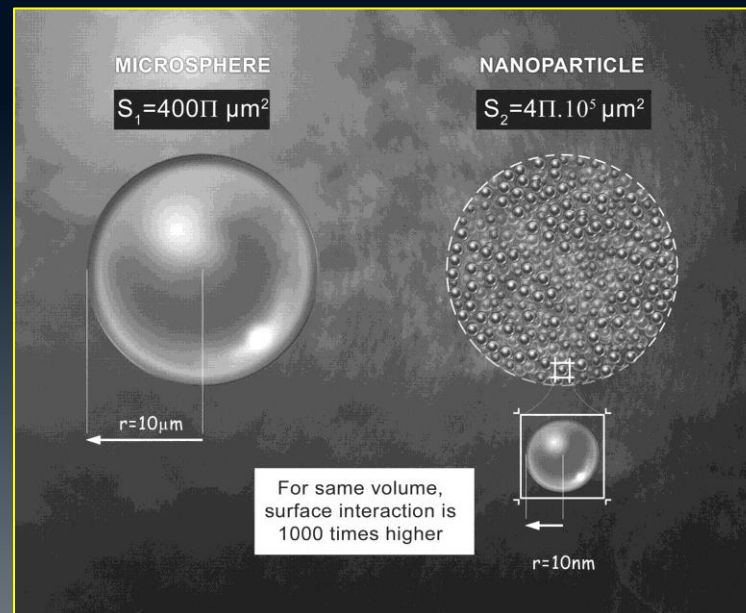
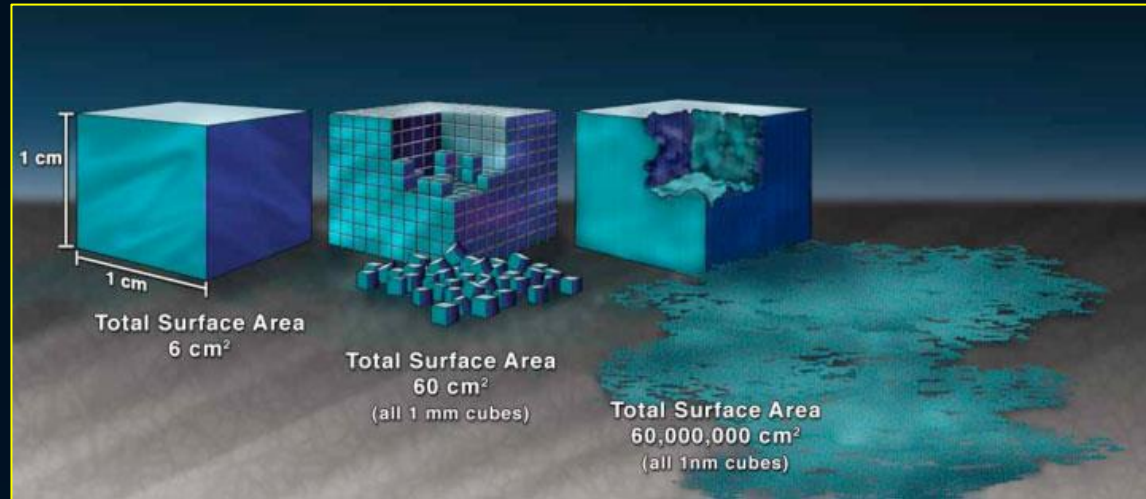


IV

A escala nanomètrica els efectes
de superfície esdevenen
 importants

Controlen moltes de les propietats
dels nanoobjectes

Efectes de superfície



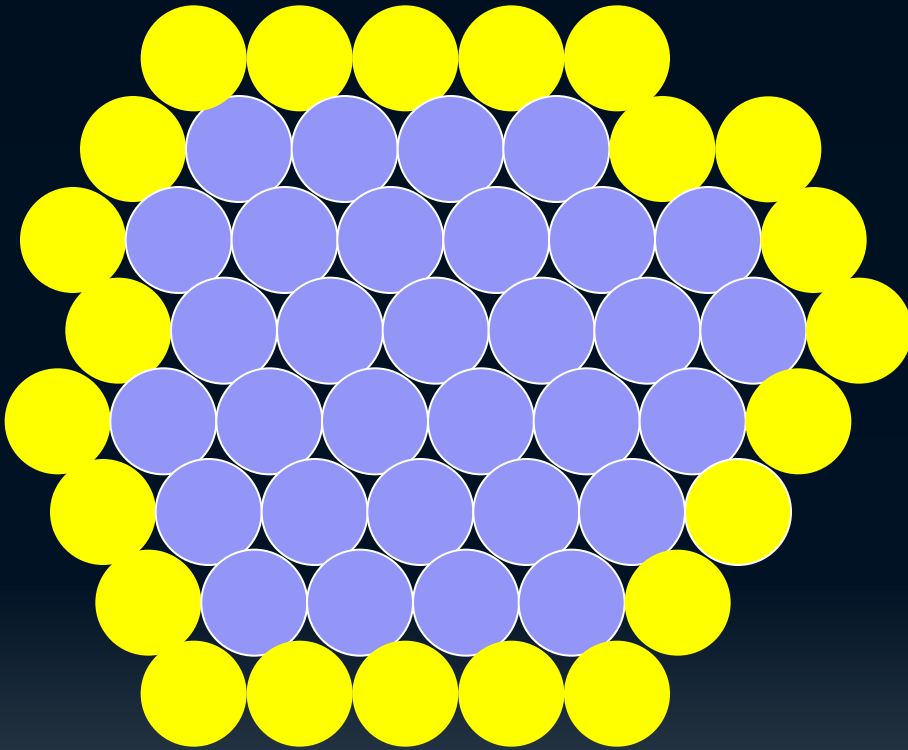
$$S \sim r^2$$

$$V \sim r^3$$



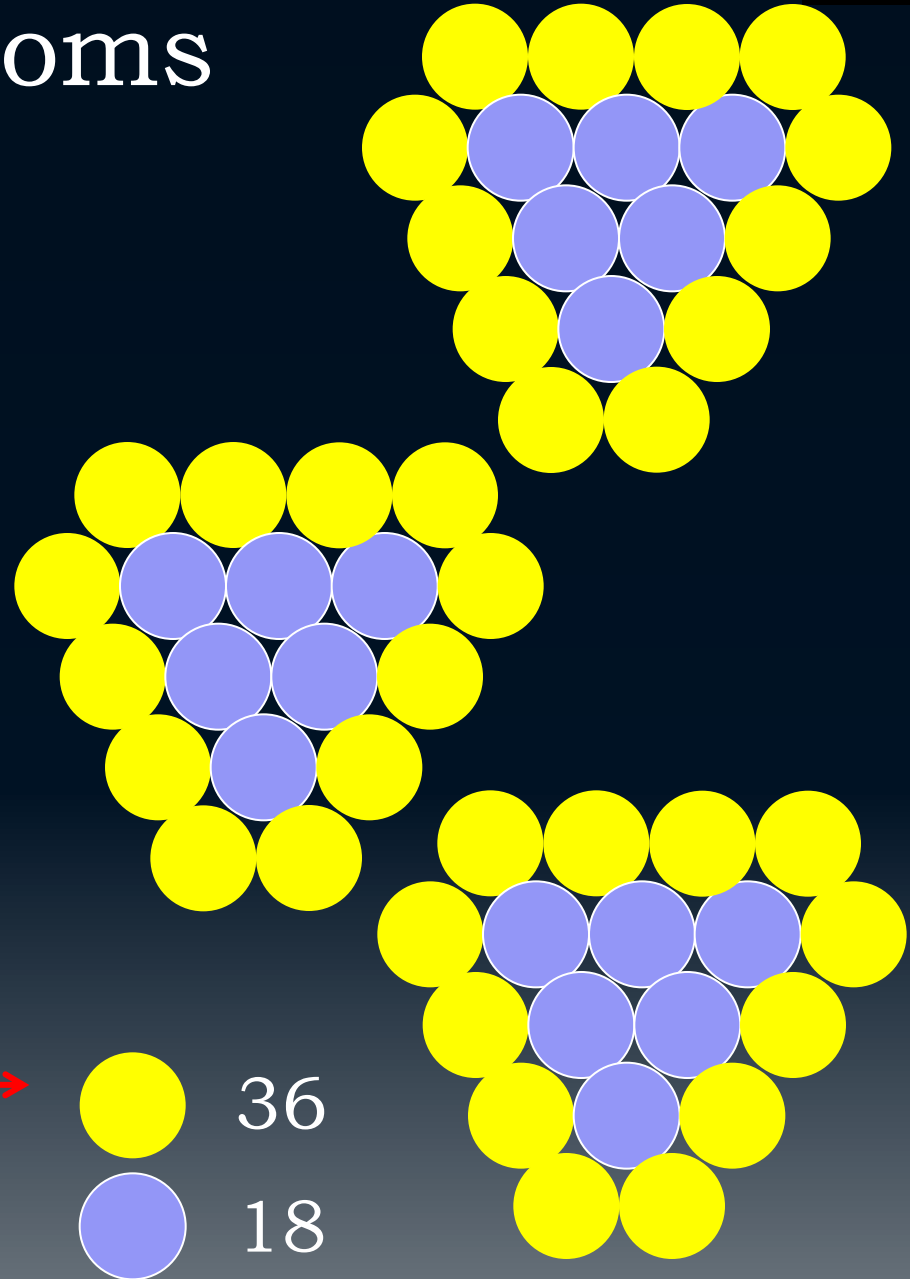
$$S/V \sim 1/r$$

54 àtoms



● 23
● 31

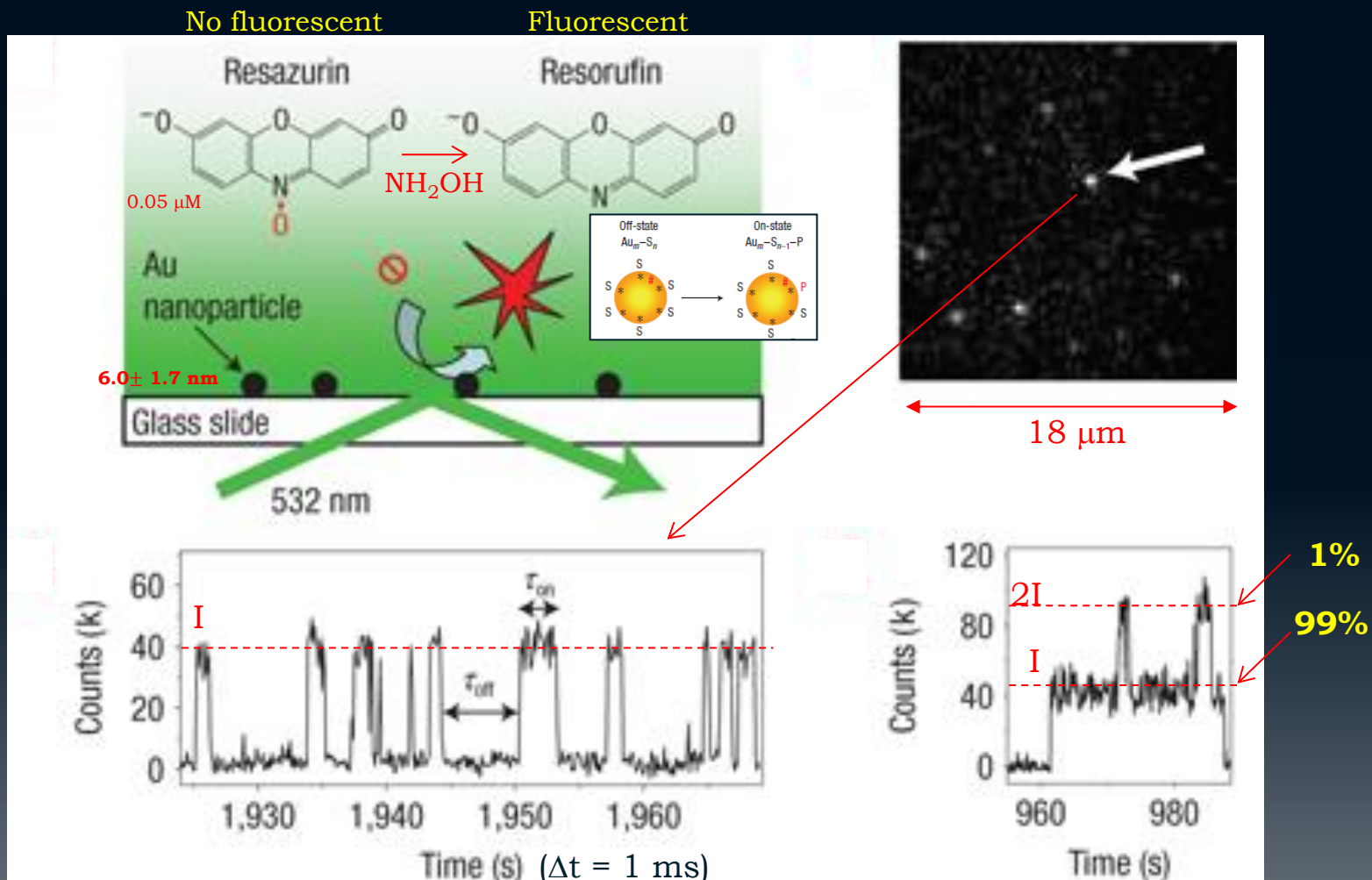
↑~50%



● 36
● 18

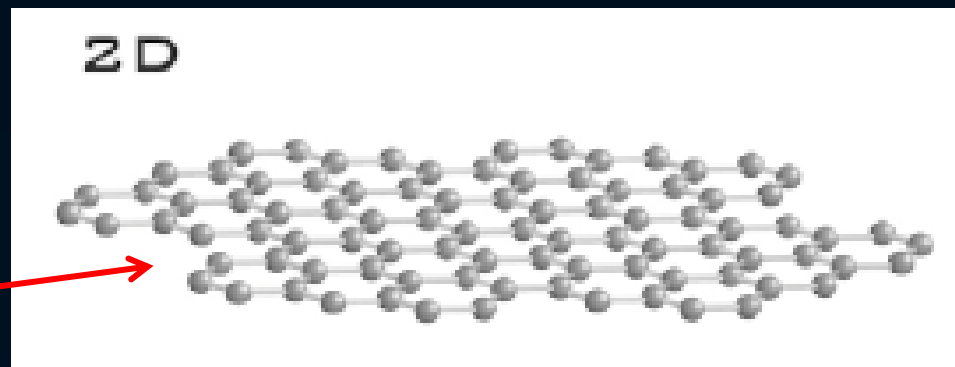
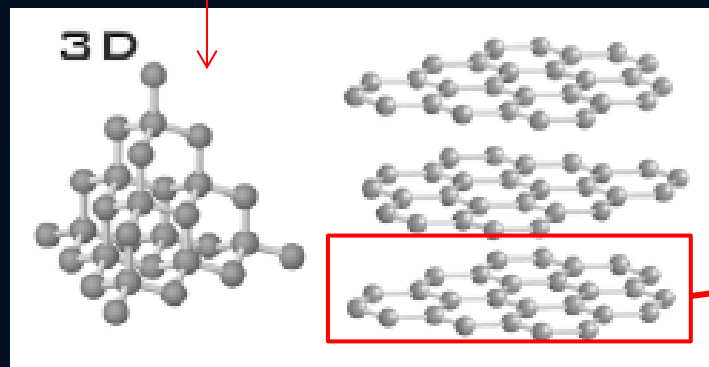
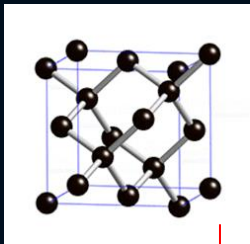
Nanocatàlisi

Observació directa d'esdeveniments catalítics individuals



(W. Xu et al., Nature Materials 7, 992 (2008))

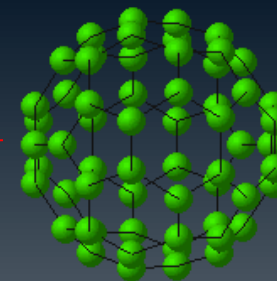
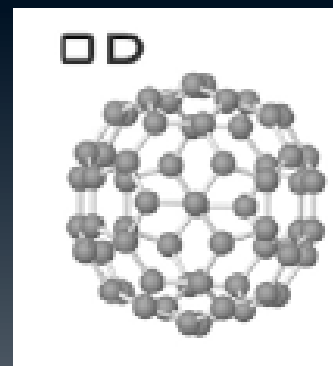
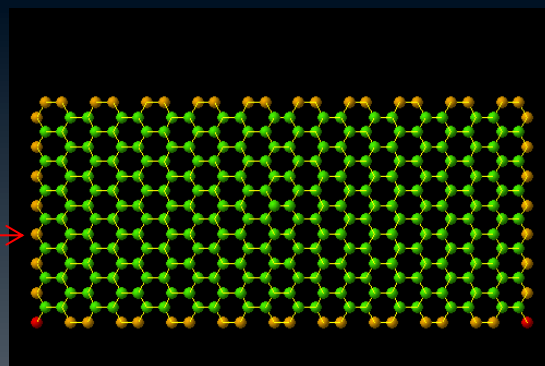
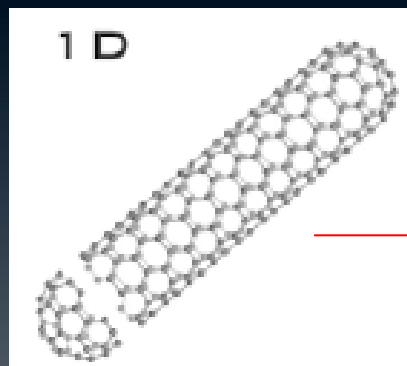
Allotropia del carboni



Diamant

Grafit

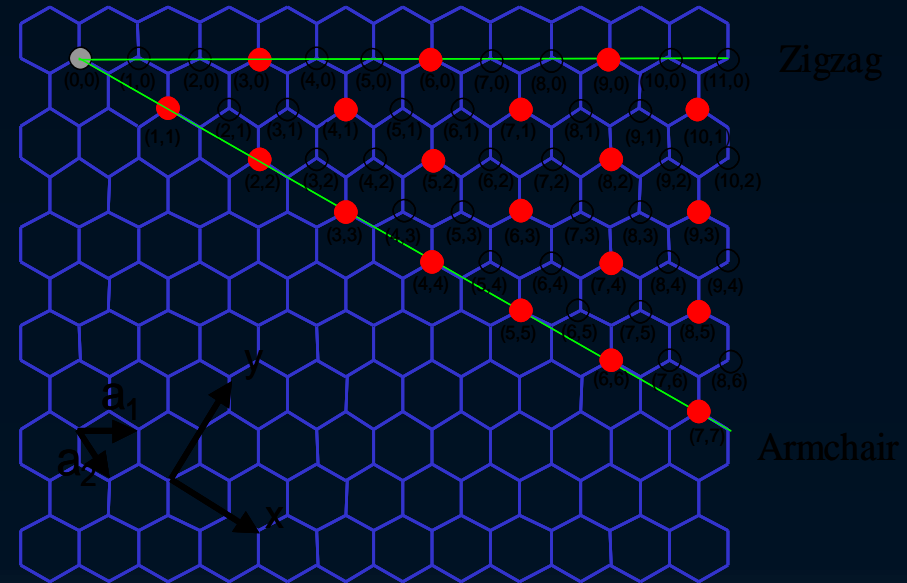
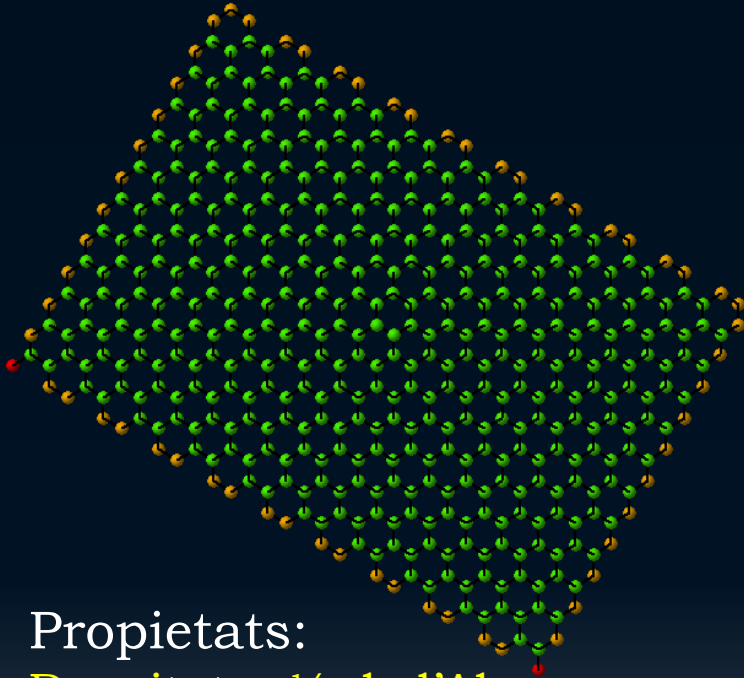
Grafè



Nanotubs

Fullerens

Família de CNTs



Propietats:

Densitat $\sim \frac{1}{2}$ de l'Al

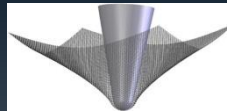
Duresa $\sim 20x$ Acer

Corrent elèctric

$\sim 1000x$ Cu

Transmissió de calor

$\sim 2x$ Diamant

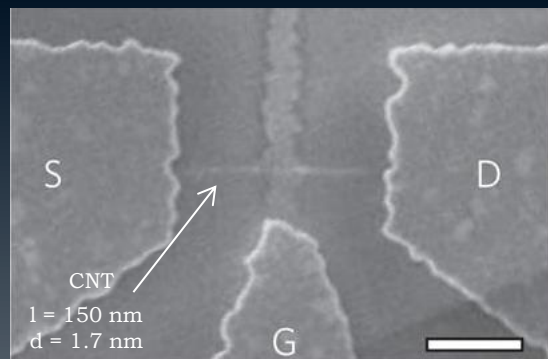
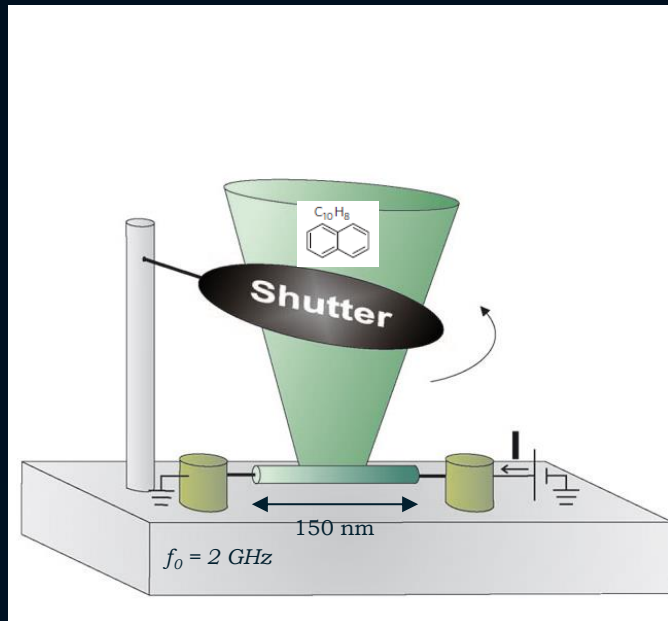


Metà·lic

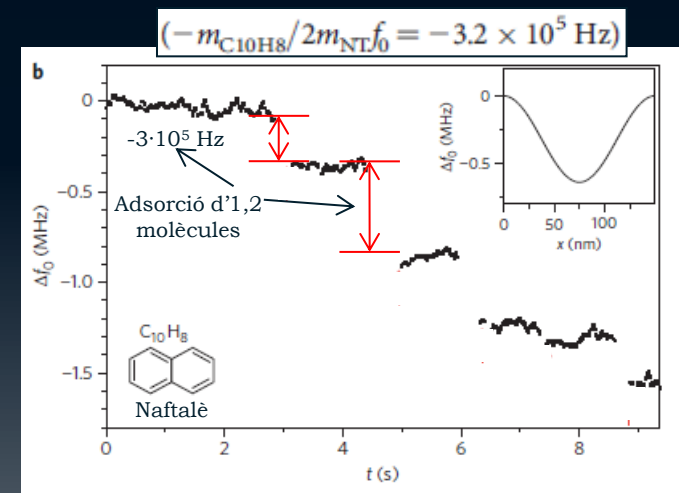
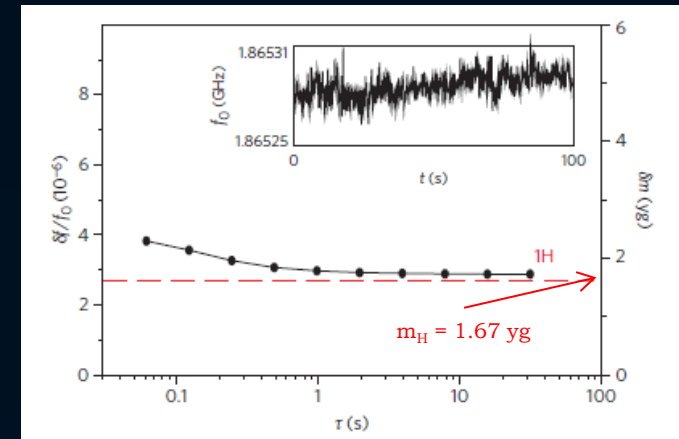


Semiconductor

CNTs: Sensor de massa



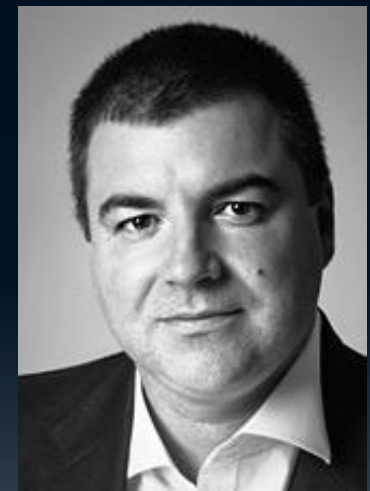
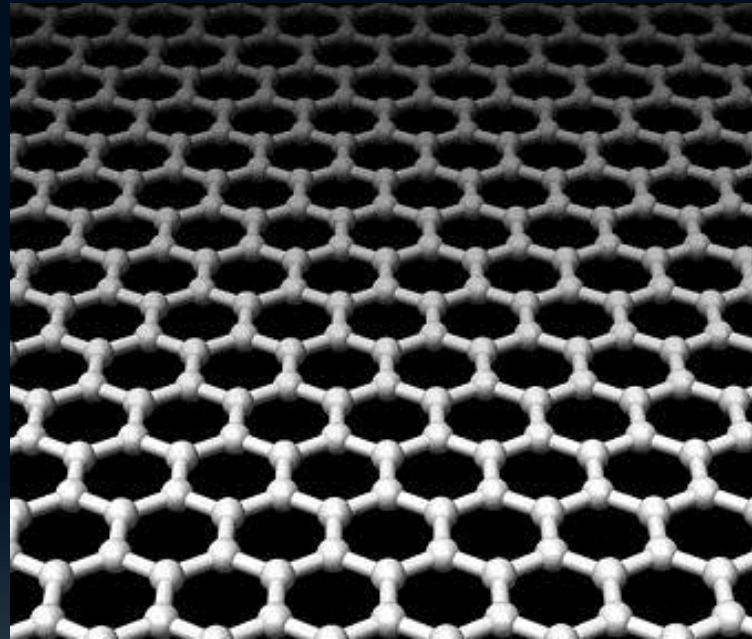
$$f = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}}$$



Fluctuació $\langle \Delta m \rangle = 1,7 \text{ yg}$ (1 yoctogram = 10^{-24} g)

(J. Chaste et al., Nature Nanotechnology 7, 301 (2012))

10 anys de grafè: 2004-2014



A. Geim

K. Novoselov

Premis Nobel de Física 2010

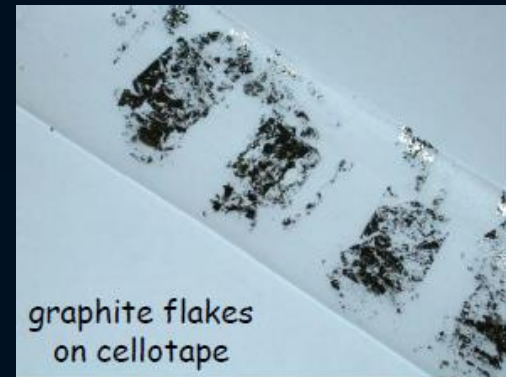
Exfoliació del grafè



+

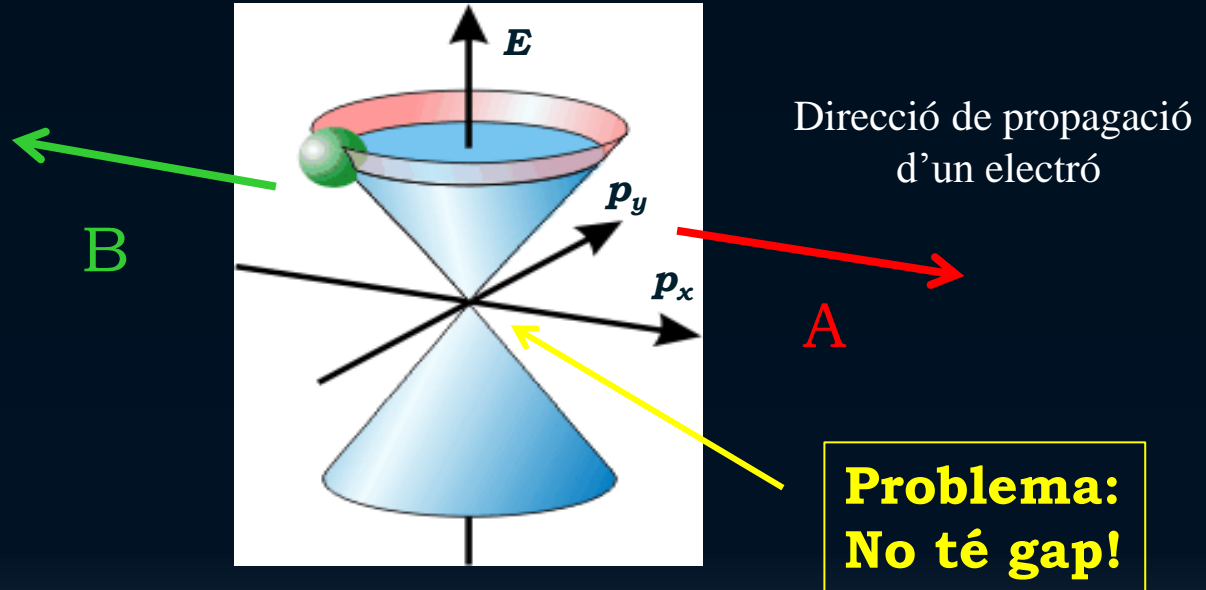
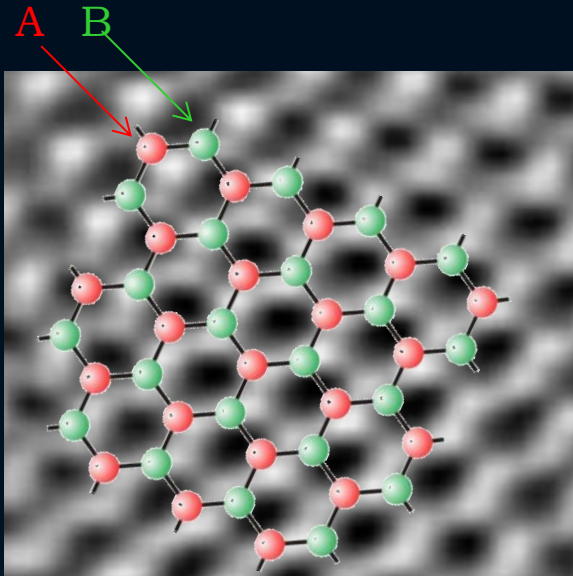


=



www.youtube.com/watch?v=rphiCdR68TE

Comportament relativista



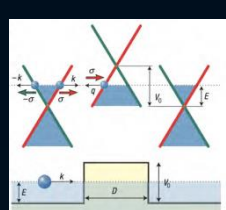
$$|\uparrow\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |\downarrow\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

“spinors”

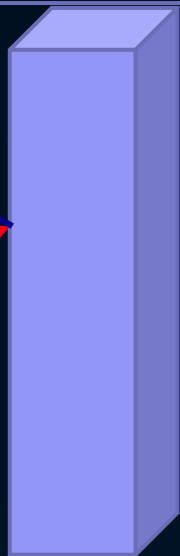
$$E(\vec{p}) = s v_F |\vec{p}|, \quad s = \pm 1$$

$v_F = c/300$, $m = 0$
(simetria e-h similar a la
de partícula-antipartícula)

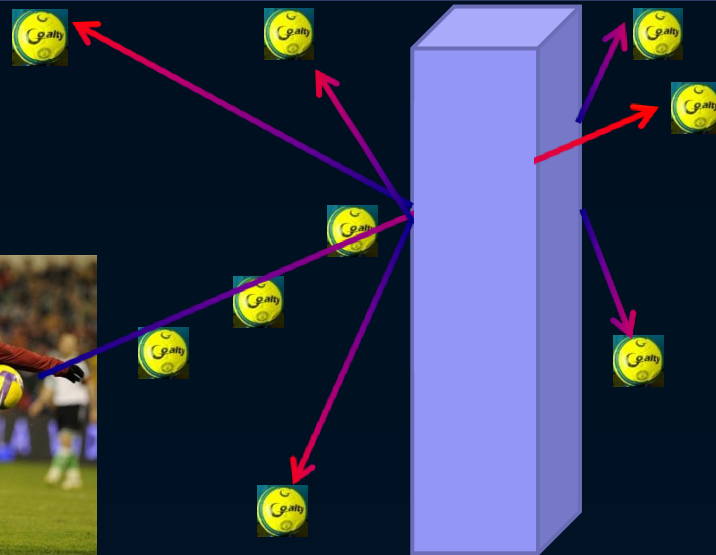
Paradoxa de Klein



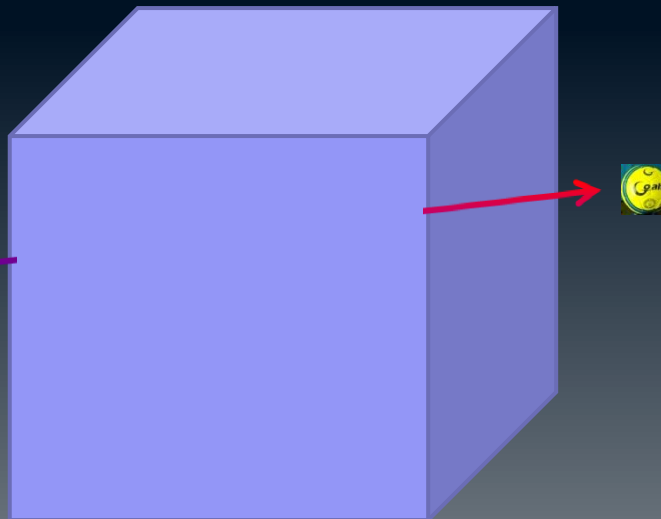
Clàssic



Quàntic



Quàntic relativista
(e/h al grafè)



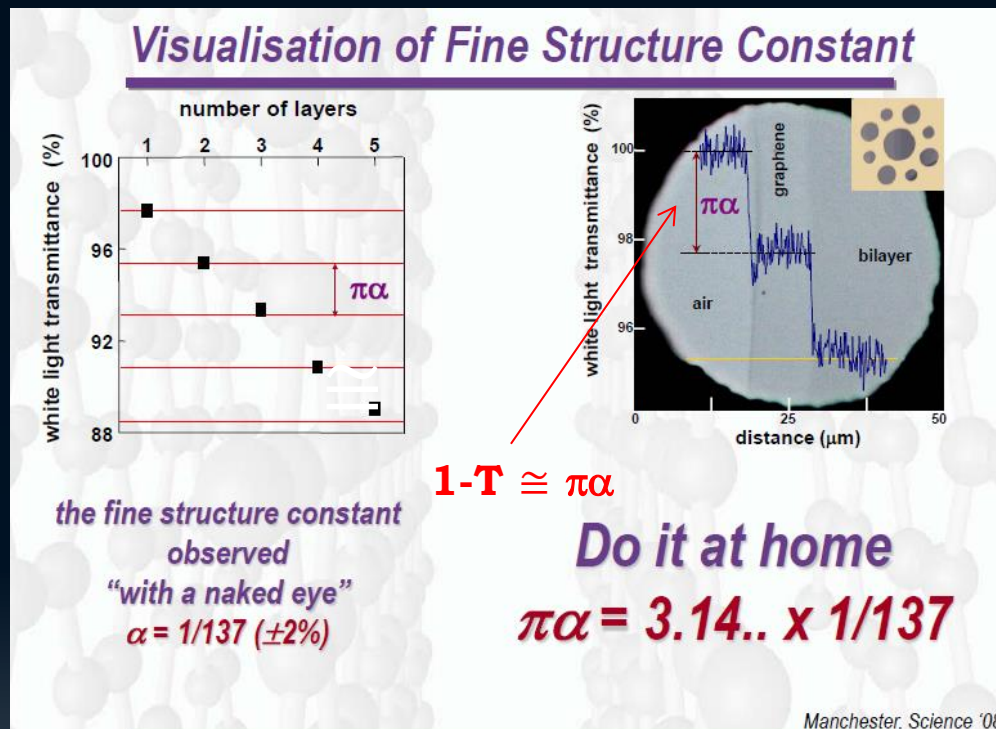
Algunes propietats del grafè

Flexible



Recuperació després d'una deformació del 18%

Transparent



Dur ("irrompible")

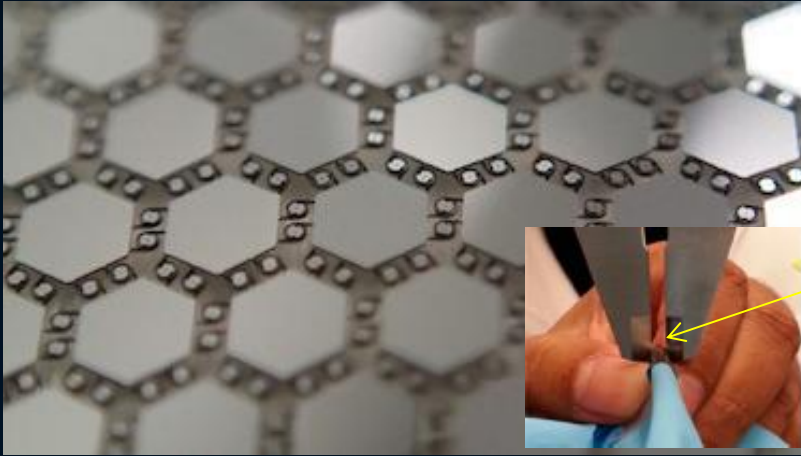
Anunci de SAMSUNG



Video

www.youtube.com/watch?v=SExLJdRby8

La flexibilitat importa: Estirar el Si x10



Electrònica flexible basada en Si

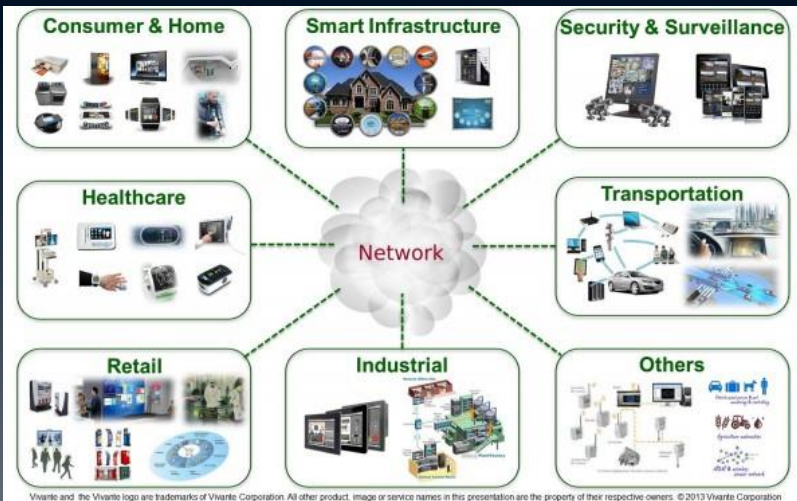
(el 90% dels productes electrònics
tenen Si com a base)

$r = 0.5 \text{ mm}$



L'Internet de les coses

(interconnexió digital de tota mena
d'objectes a internet)



No hi haurà objectes “perduts”,
caducats, etc. els hi seguirem la pista
en tot moment. Estimació: al 2020 hi
haurà 30 mM dispositius connectats
a internet

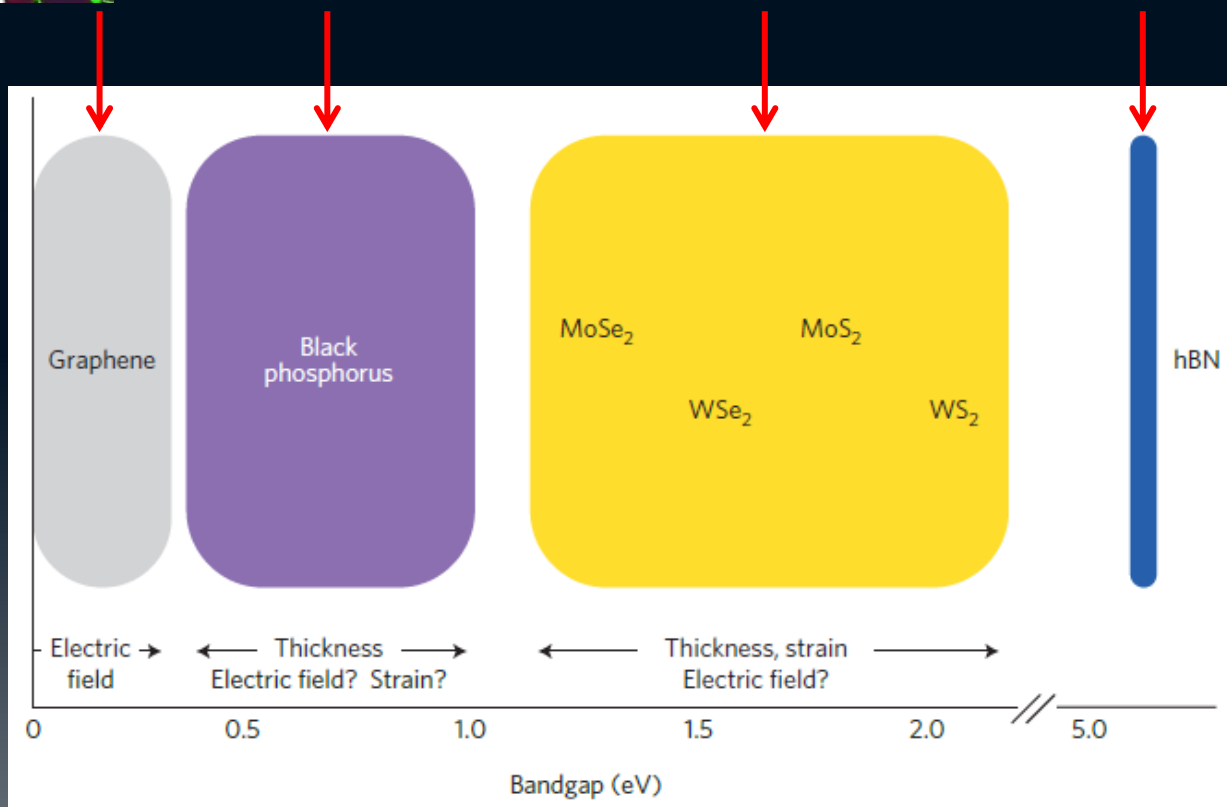
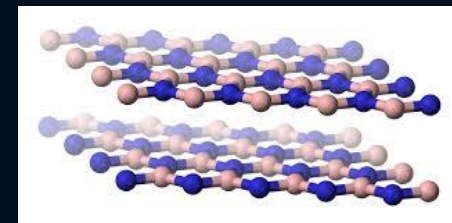
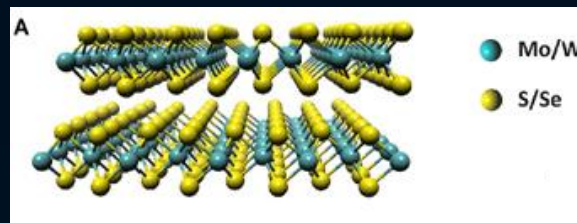
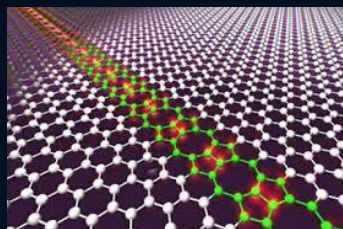


Guille

Mare de la Mafalda

(Malada, Quino)

Un nou món: el materials 2D



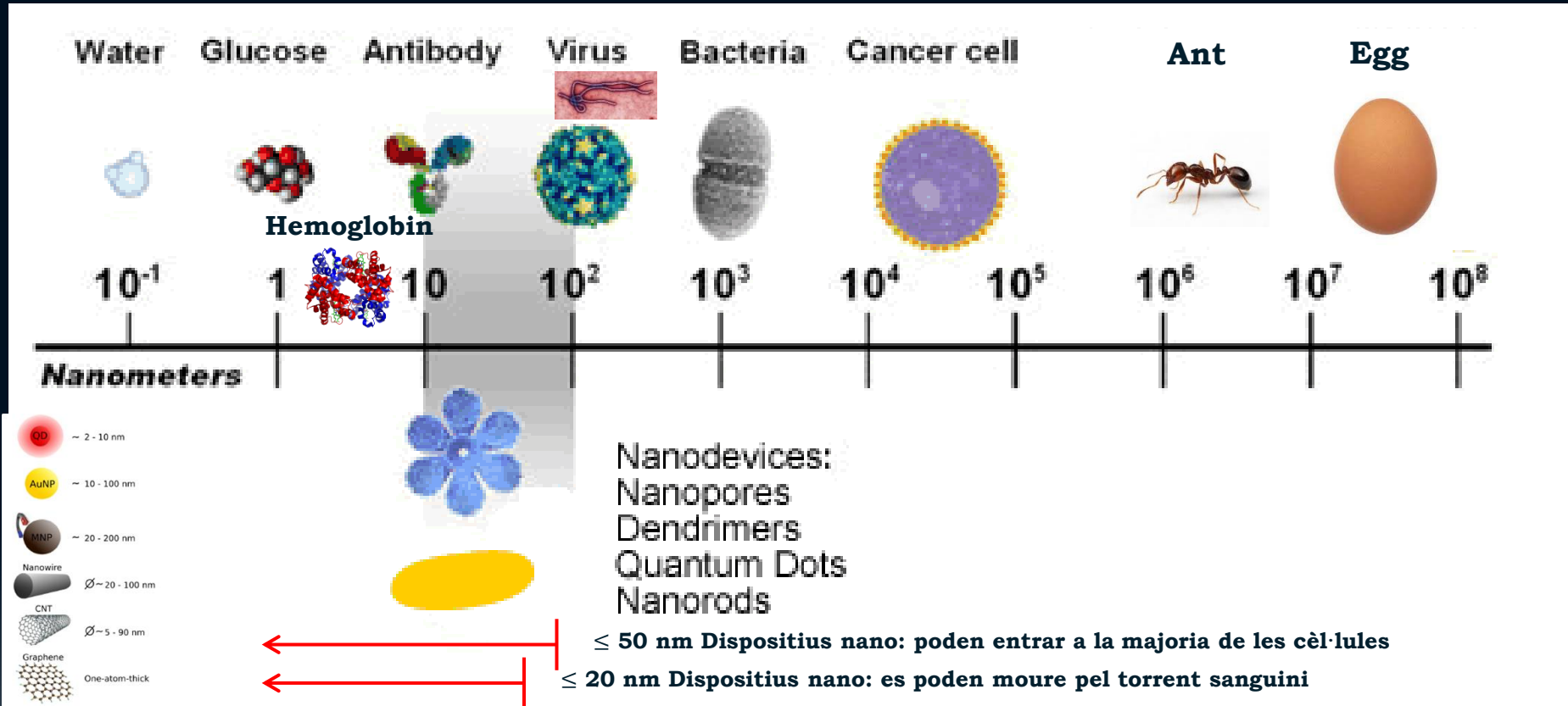
(H.O.H. Churchill et al., Nature Nanotechnology 9, 330 (2014))

V

Molts sistemes biològics tenen
mides nanomètriques

Obre la porta a les interaccions
dels mons inorgànic i
biològic/biomèdic/mèdic

Món biològic



<http://nano.cancer.gov/learn/understanding>

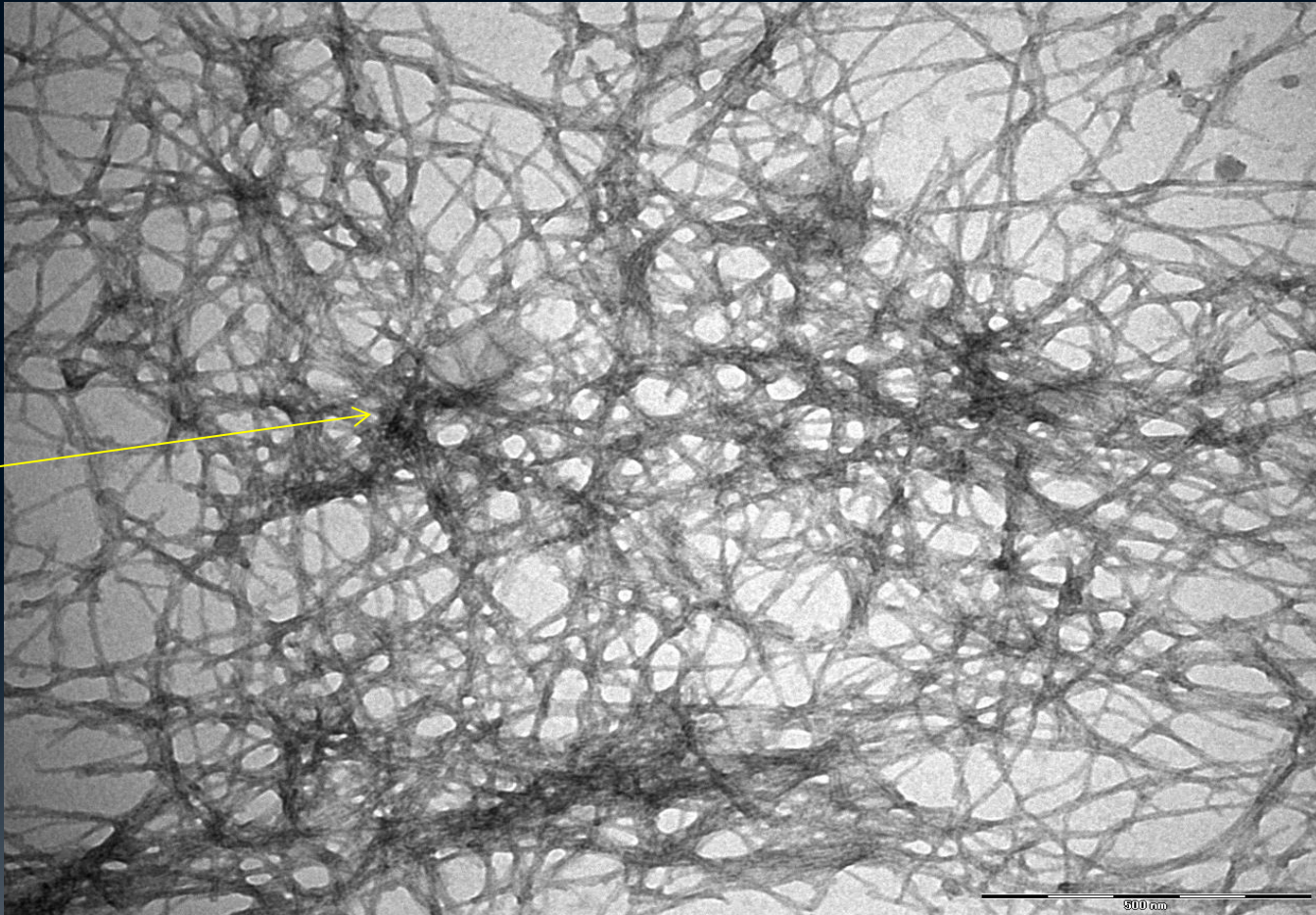
Diàleg (interacció) de dispositius nano amb biomolècules a la superfície i a l'interior de les cèl·lules (entre altres).

Potencial per a una nova detecció i un nou tractament de malalties

Malalties neurodegeneratives

Alzheimer

Plaques
senils



Aglomerats de β -amiloide

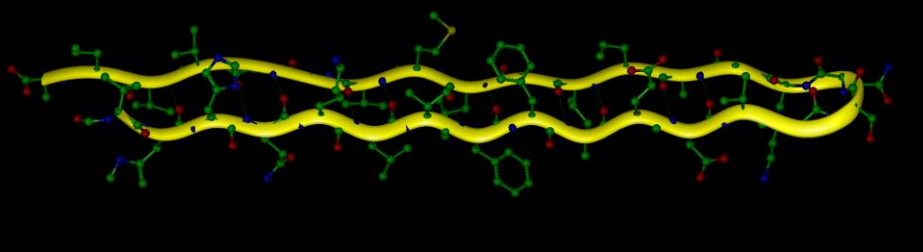
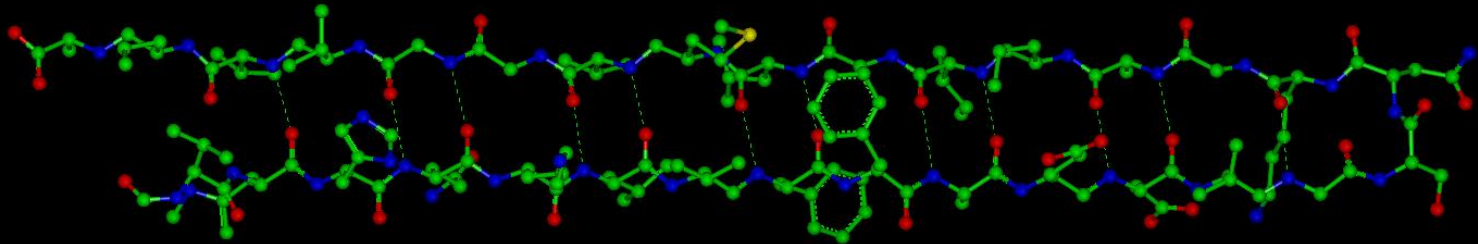
(M.J. Kogan et al., Nano Letters 6, 110 (2006))

β -Amiloide

(pèptid, 36 a 43 aminoàcids)

$A\beta_{1-42}$: H_2N -DAEFRHDSGYEVHHQKLVFFAEDVGSN
KGAIIGLMVGGGVIA-COOH

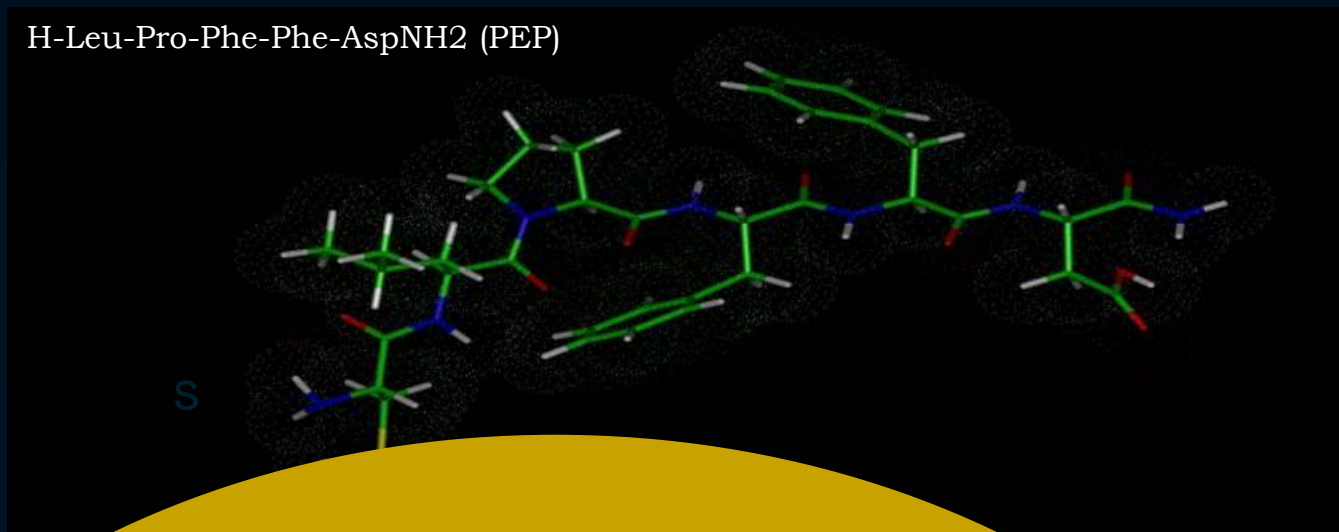
$A\beta_{1-40}$



β -sheet
(conformació tòxica)

Conjugats AuNP + CyS-PEP

H-Leu-Pro-Phe-Phe-AspNH₂ (PEP)



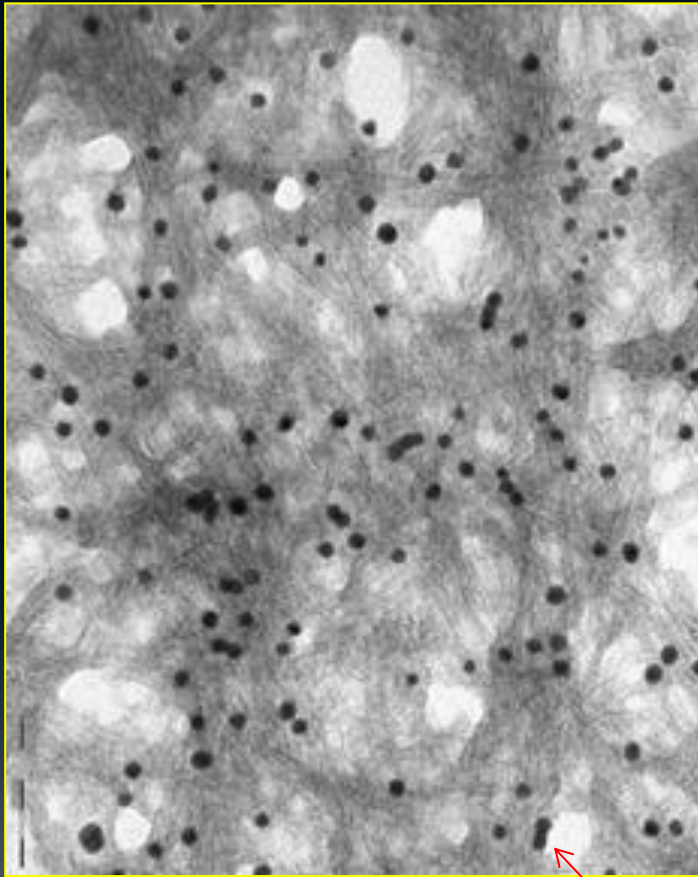
$d_{\text{Au}} = 10 \text{ nm}$

(Cortesia V. Puentes, ICN)

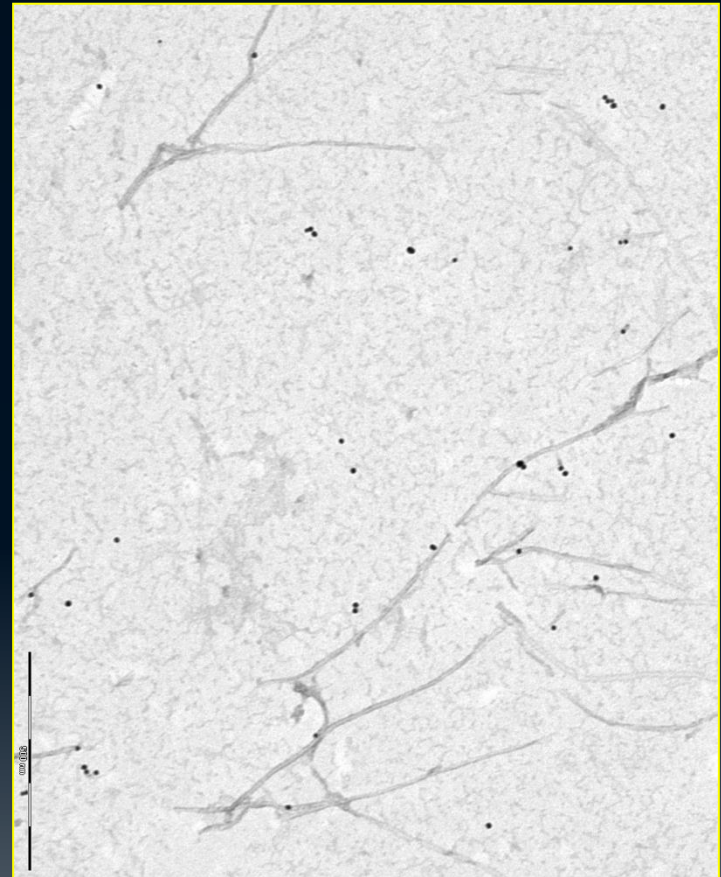
14/11/2014

J. Pascual - Sant Albert 2014

$A\beta_{1-42}$ incubat amb AuNP-CyS-PEP (inhibidor) abans i després d'irradiar



$h\nu$



Au-cysLPFFDNH2

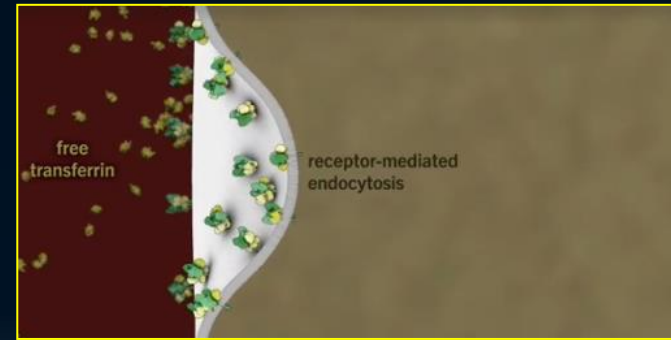
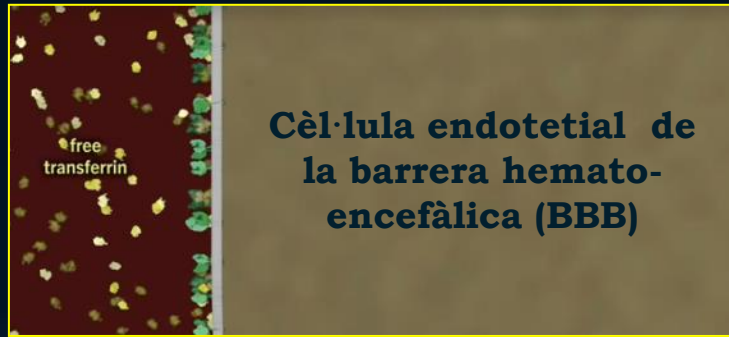
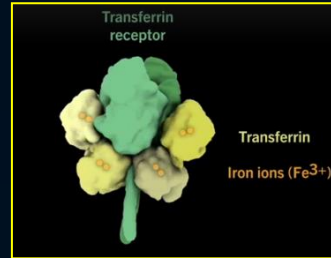
Estudi *in vivo* de la vascularització del cervell de ratolí amb CNTs fluorescents a freqüències del NIR



(G. Hong, Nature Photonics 8, 723 (2014))

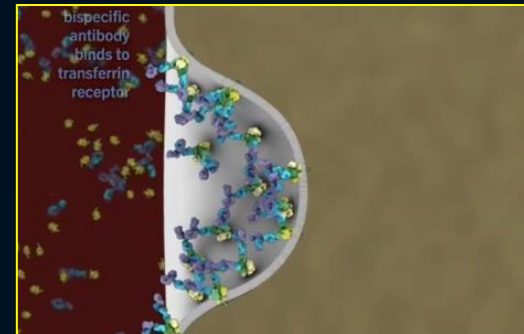
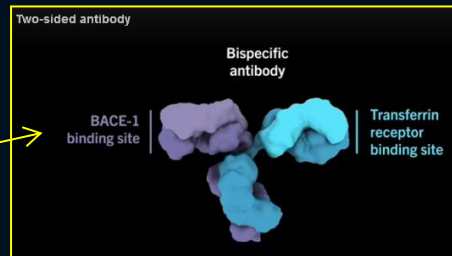
Estratègies bio per penetrar el BBB

a) Penetració de nutrients



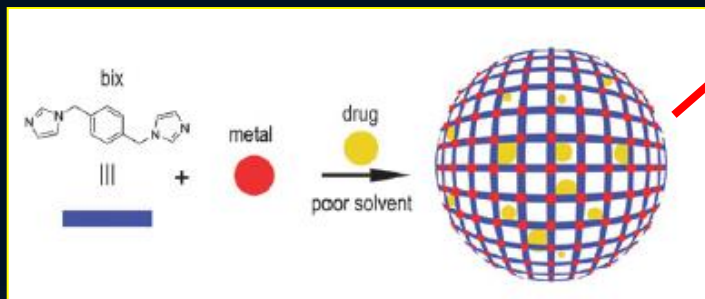
b) Penetració de β -secretasa (\downarrow 20% A β en primats)

β -secretasa

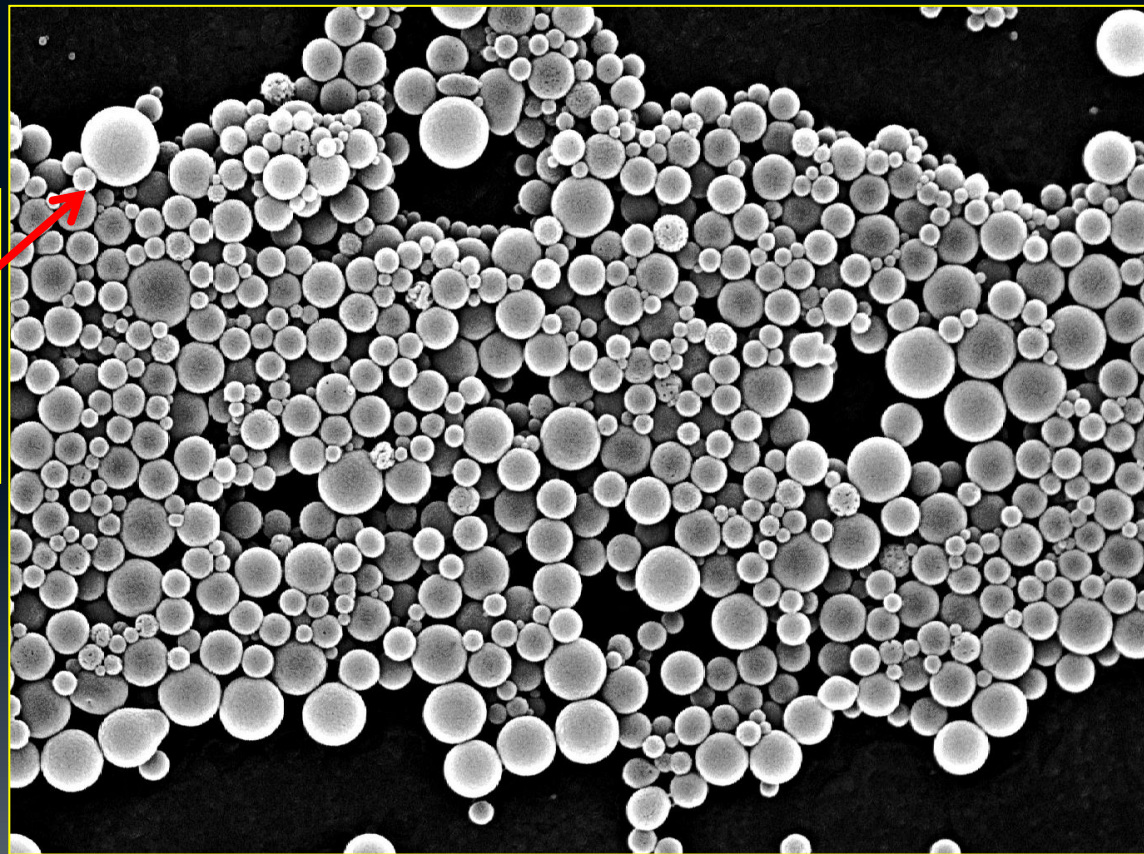


(I. J. You et al., Sci.Transl. Med. 6, 261ra154 (2014))

Encapsulat de fàrmacs en nanoesferes

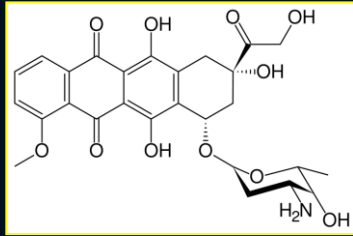


Encapsulats en MOFs



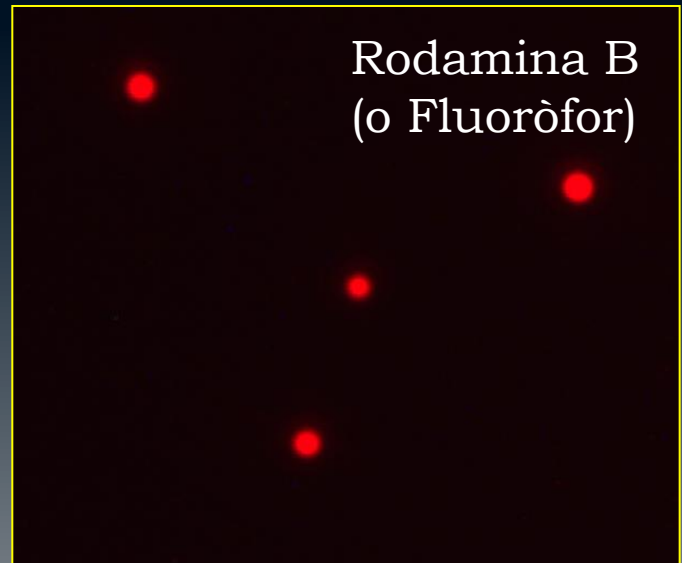
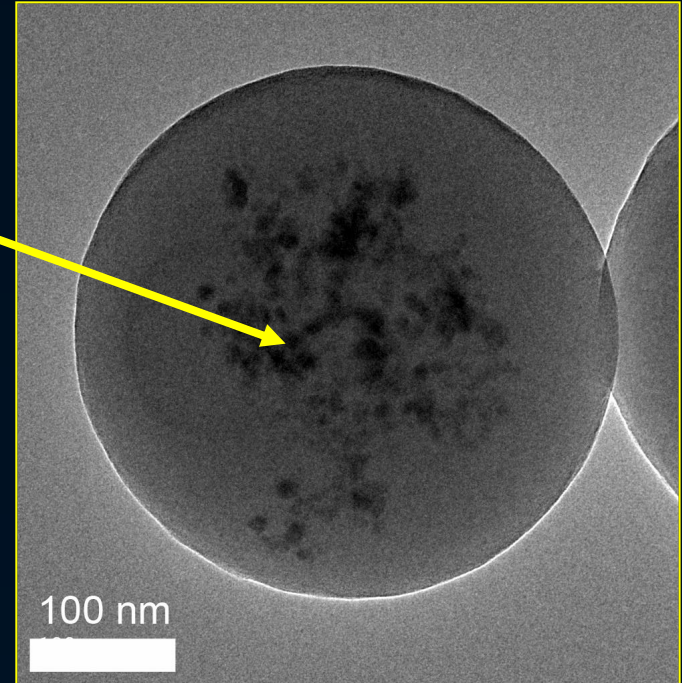
(I. Imaz et al., 46, 4737 (2010))

Doxorubicina



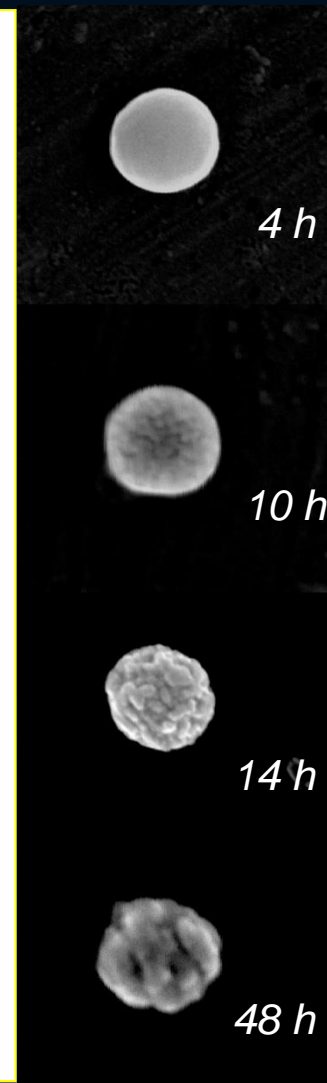
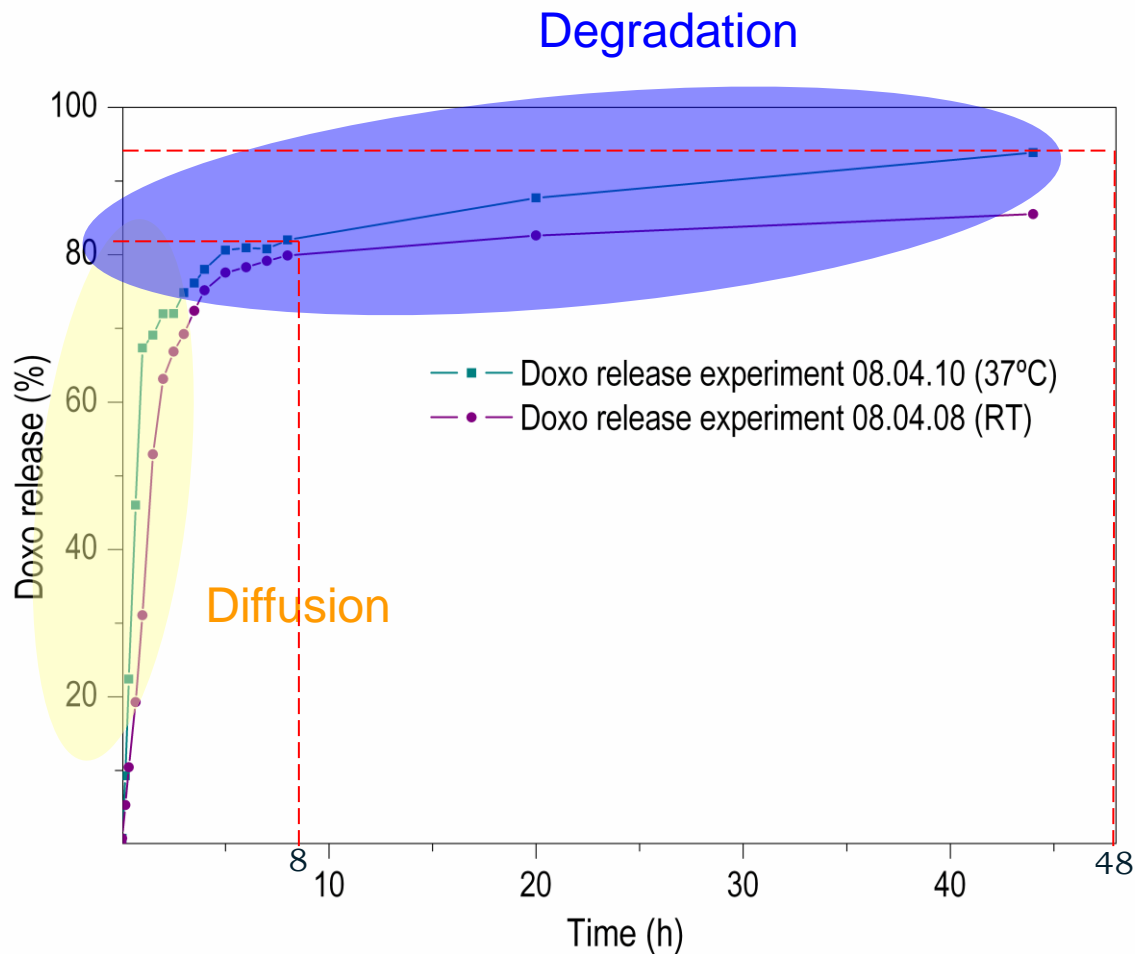
Un dels agents anticancerígens més utilitzats

- L'encapsulat augmenta l'activitat antitumoral
- La fluorescència facilita la monitorització
- Comercialitzat. Utilitzat en el tractament de diferents càncers (sarcomes, carcinomes, leucèmies, ...)



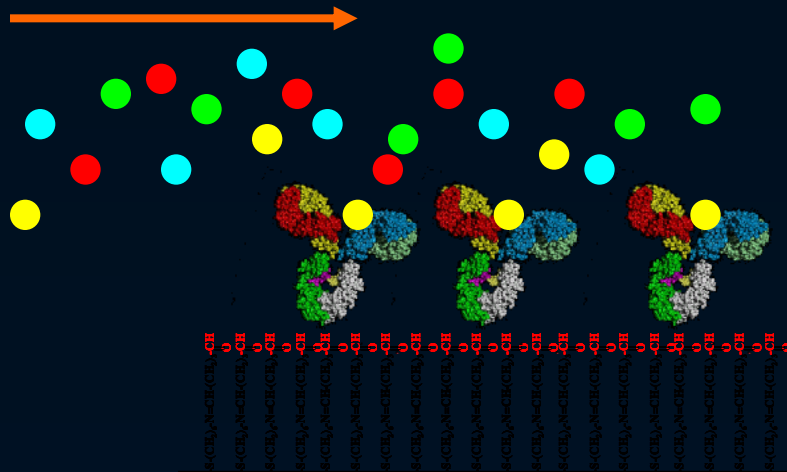
Rodamina B
(o Fluoròfor)

Alliberament de doxorubicina

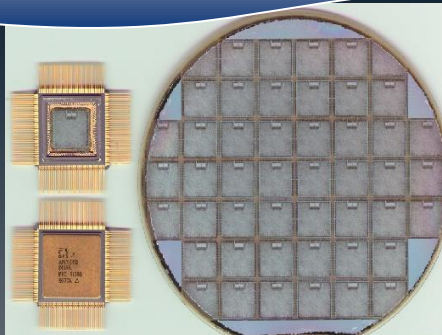


(Cortesia D. Maspoch, ICN)

Nanobiosensors



Superfície del transductor



Mostra biològica
a detectar

Receptors biològics selectius
Enzims, Anticossos, ADN, ...

Transductors
Sensibles a petites
modificacions de la superfície

Senyal de reconeixement
Conductivitat, Potencial,
Freqüència, Luminiscència,
Efectes tèrmics,...

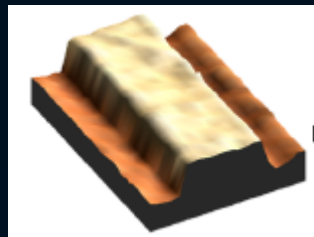
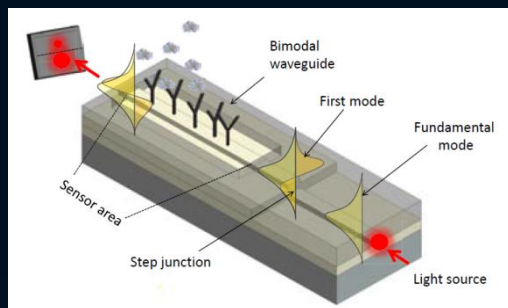
Detecció

Alta sensibilitat basada en el reconeixement biomolecular específic
temps real, ràpid (segons a minuts)

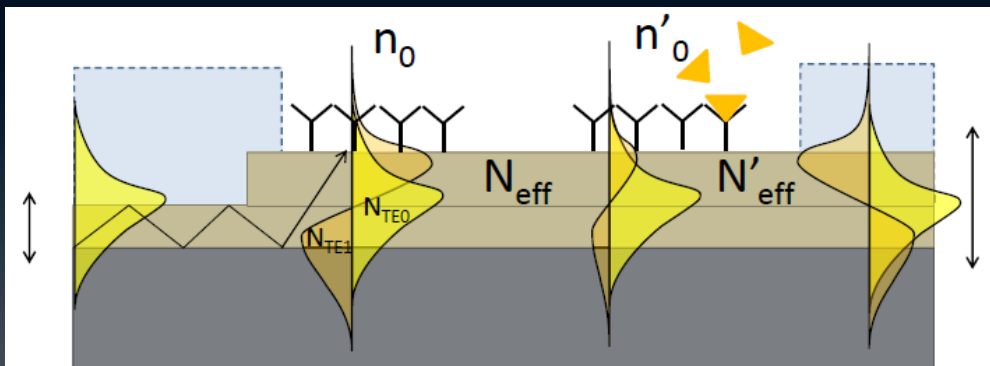
Substàncies a detectar

Proteïnes, virus, ADN, patògens,
contaminants orgànics, bacteris,...

Nanobiosensors òptics: Guia d'ona bimodal

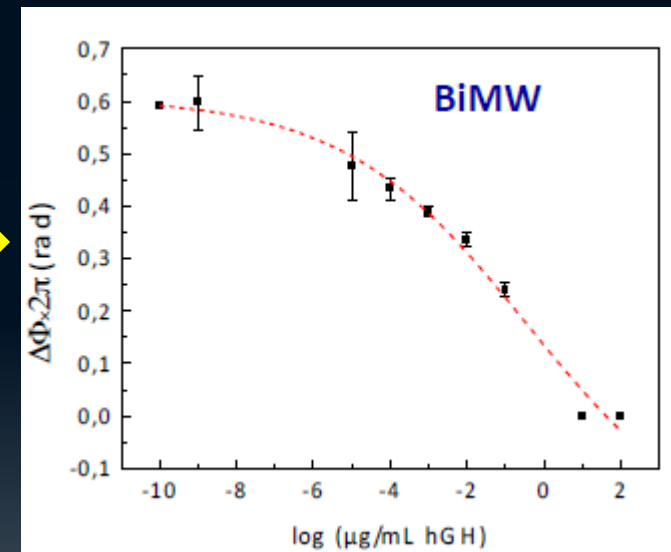


$\Delta h \leq 3 \text{ nm}$



(A. B. González, tesis doctoral ICN-UAB, 2012)

Nivells d'hormona de
creixement humà



8 pg/ml (160 fM)

(Cortesia L. Lechuga, ICN2)

El futur



Del laboratori clínic



Al dispositiu POC
(Point-of-care)



Mostra



Avaluació amb biosensors



Tractament

<http://www.youtube.com/watch?v=32YwVuiAgEg>

VI

Algunes dades significatives

Quin és el programa científic més
ambiciós que s'ha fet mai als
EEUU?

El projecte Apollo
(arribada de l'home a la Lluna)

i el segon programa?

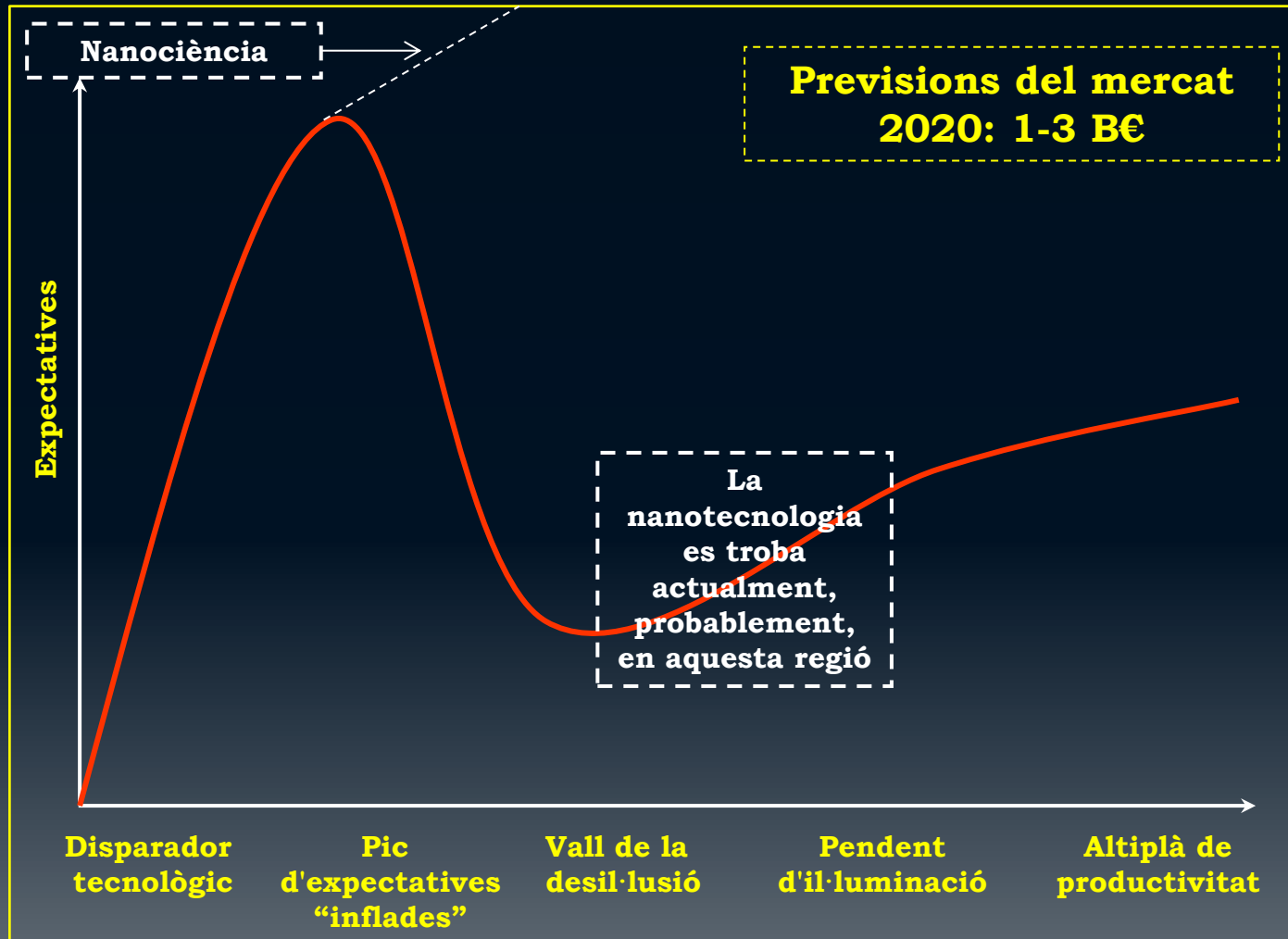
La NNI (National Nanotechnology Initiative)

Alguns indicadors

World /US/	People -primary workforce	SCI papers	Patents applicat- ions	Final Products Market	R&D Funding public + private	Venture Capital
2000 (actual)	~ 60,000 /25,000/	18,085 /5,342/	1,197 /405/	~ \$30 B /\$13 B/	~ \$1.2 B /\$0.37 B/	~ \$0.21 B /\$0.17 B/
2008 (actual)	~ 400,000 /150,000/	65,000 /15,000/	12,776 /3,729/	~ \$200 B /\$80 B/	~ \$14 B /\$3.7 B/	~ \$1.4 B /\$1.17 B/
2000 - 2008 average growth	~ 25%	~ 23%	~ 35%	~ 25%	~ 35%	~ 30%
2015 (estimation in 2000)	~ 2,000,000 /800,000/			~ \$1,000B /\$400B/		
2020 (extrapolation)	~ 6,000,000 /2,000,000/			~ \$3,000B /\$1,000B/		
Evolving Topics	Research frontiers change from <u>passive nanostructures in 2000-2005</u> , to <u>active nanostructures after 2006</u> , and to <u>nanosystems after 2010</u>					

MC Roco, Sept 30 2010

Estat actual i futur de la *nano*



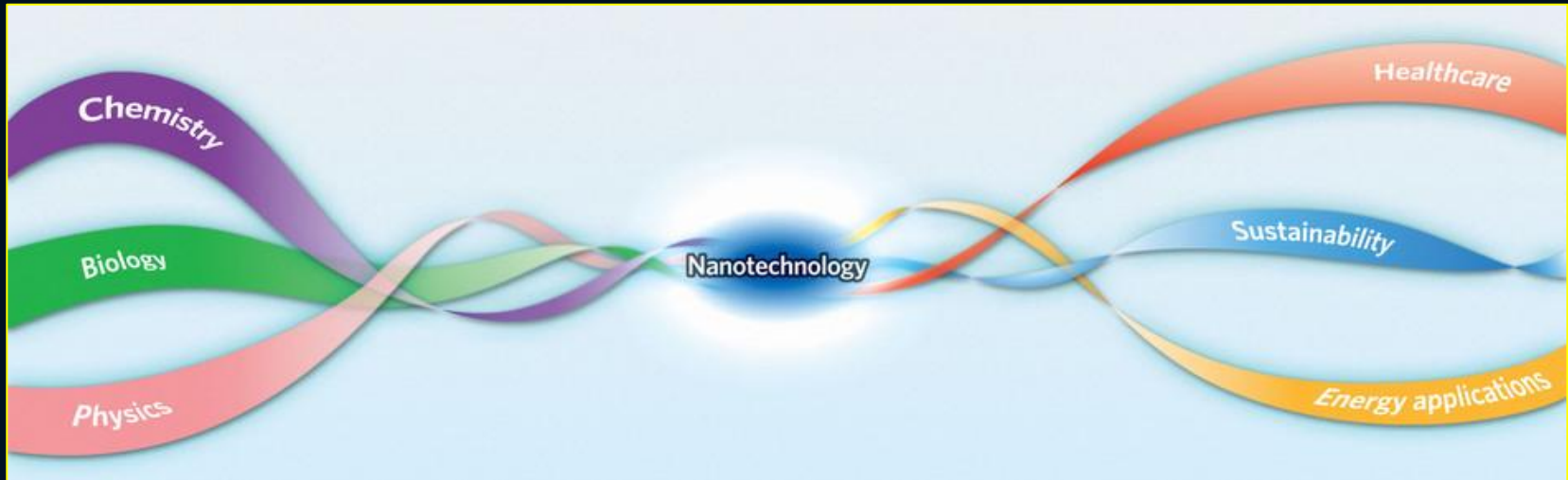
Exemples de penetració de la N en alguns sectors industrials

U.S.	2000	2010	Est. in 2020
Semiconductor industry	0 (with features < 100 nm) 0 (new nanoscale behavior)	60% (~\$90B) 30% (~\$45B)	100% 100%
New nanostructured catalysts	0	~ 35% (~35B impact)	~ 50%
Pharmaceutics (therapeutics and diagnostics)	0	~ 15% (~\$70B)	~ 50%
Wood	0	0	~ 20%

Nano2 Report, 2010, p. XXXVI

MC Roco, Sept 27 2011

VII - Grau Nano



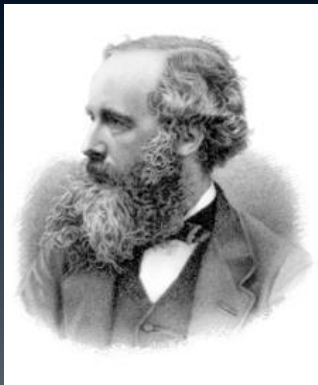
I+D+i+...

nano



La nano ha vingut per compartir

150è aniversari de les equacions de Maxwell



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

[459]

III. *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.* By J. CLERK MAXWELL, F.R.S.

Received October 27,—Read December 5, 1864.

PART I.—INTRODUCTORY.

[1] THE most obvious mechanical phenomenon in electrical and magnetical experiments is the mutual action by which bodies in certain states set each other in motion while still at a sensible distance from each other. The first step, therefore, in reducing these phenomena into scientific form, is to ascertain the magnitude and direction of the force acting between the bodies, and when it is found that this force depends in a certain way upon the relative position of the bodies and on their electric or magnetic condition, it seems at first sight natural to explain the facts by assuming the existence of something either at rest or in motion in each body, constituting its electric or magnetic state, and capable of acting at a distance according to mathematical laws.

In this way mathematical theories of statical electricity, of magnetism, of the mechanical action between conductors carrying currents, and of the induction of currents have been formed. In these theories the force acting between the two bodies is treated with reference only to the condition of the bodies and their relative position, and without any express consideration of the surrounding medium.

These theories assume, more or less explicitly, the existence of substances the particles of which have the property of acting on one another at a distance by attraction or repulsion. The most complete development of a theory of this kind is that of M. W. WEBER*, who has made the same theory include electrostatic and electromagnetic phenomena.

In doing so, however, he has found it necessary to assume that the force between two electric particles depends on their relative velocity, as well as on their distance.

This theory, as developed by MM. W. WEBER and C. NEUMANN†, is exceedingly ingenious, and wonderfully comprehensive in its application to the phenomena of statical electricity, electromagnetic attractions, induction of currents and diamagnetic phenomena; and it comes to us with the more authority, as it has served to guide the speculations of one who has made so great an advance in the practical part of electric science, both by introducing a consistent system of units in electrical measurement, and by actually determining electrical quantities with an accuracy hitherto unknown.

* *Electrodynamische Messungen.* Leipzig, 1846. *Ann. Chem. Phys.*, vol. 3, p. 373.

† *Explication théorique et pratique des lois du magnétisme et de l'électricité.* Paris, 1846.

Algunes prediccions d'experts

“Tot allò que es pot inventar ja ha estat inventat”

Charles Duell, Comissionat de l'Oficina de Patents dels USA, 1899

“No hi ha cap raó perquè cada persona tingui un ordinador a casa”

Ken Olson, President i fundador de Digital Equipment Corp., 1977

“640 Kb han de ser suficients per a tothom”

Bill Gates, President de Microsoft, 1981

En ciència,
com en altres coses...

(quasi bé)

tot està per fer
i

(amb permís de K. Gödel)

tot és possible

Gràcies
per la vostra atenció